

DISEÑO DE UNA CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA USO AGRÍCOLA

GROUNDWATER EXTRACTION DESIGN FOR AGRICULTURAL USE

MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

Presentado por:

D. José Manuel Vega García

Dirigido por:

D. Tomás García Ruiz

Madrid, a 28 de junio de 2021

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. OBJETIVOS.....	7
4. METODOLOGÍA	8
5. MEMORIA.....	9
5.1 Antecedentes y Objeto del Proyecto.	9
5.2 Situación del sondeo.	9
5.3 Contexto geológico, hidrogeológico e hidroquímico de la zona.	10
5.3.1 Geología	10
5.3.2 Hidrogeología	12
5.3.3 Hidroquímica	16
5.4 Características constructivas del sondeo.....	18
5.4.1 Profundidad de diseño del sondeo.	18
5.4.2 Dimensiones y características esperadas de la bomba.....	19
5.4.3 Diámetro del sondeo, entubado y características de los filtros.....	19
5.5 Sistema, equipo de perforación, etapas y cronograma de ejecución.....	19
5.5.1 Sistema y equipo de perforación.	19
5.5.2 Etapas y actividades para la ejecución del sondeo	20
5.5.3 Cronograma de ejecución.....	21
5.6 Medidas de Seguridad.....	22
5.7 Medidas de protección del medioambiente.	23
5.8 Legislación básica aplicable.	24
5.9 Autorizaciones, tasas y tramitaciones ante la administración pública.....	24
5.9.1 D. G. de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.	25
5.9.2 Ayuntamiento de Algete.....	25
5.9.3 Confederación Hidrográfica del Tajo.....	26
5.10 Funciones del Director Facultativo.....	26
6. PLIEGO DE CONDICIONES	26
6.1 Condiciones Generales.	26
6.1.1 Disposiciones legales.....	26
6.1.2 Dirección de la obra.....	26
6.1.3 Responsabilidad del contratista	27
6.1.4 Personal y medios	27
6.1.5 Precauciones especiales durante la ejecución de los trabajos.....	27
6.1.6 Inspección de los medios dispuestos y los trabajos desarrollados por el contratista	27

6.1.7	Materiales	27
6.1.8	Maquinaria de perforación.....	27
6.1.9	Suministros y acopios.....	28
6.1.10	Replanteo	28
6.1.11	Preparación de accesos y emplazamiento del equipo.....	28
6.1.12	Perforación.....	28
6.1.13	Testificación geológica y geofísica	29
6.1.14	Entubación	29
6.1.15	Engravillado	30
6.1.16	Limpieza del pozo	30
6.1.17	Desarrollo del pozo.....	30
6.1.18	Ensayo de bombeo.....	30
6.1.19	Acabado final, restauración de terrenos y gestión de residuos.....	30
6.1.20	Finalización de los trabajos	31
6.2	Seguridad y Salud.	31
6.3	Plazo de ejecución.	31
6.4	Abono de instalaciones.	31
7.	PRESUPUESTO	32
8.	ANEXOS.....	33
8.1	Cálculo de la demanda hídrica del cultivo.....	33
8.2	Cálculo de la adecuación de la calidad del agua para el cultivo.....	35
8.3	Cálculo del nivel piezométrico dinámico de la captación.	37
8.4	Cálculo de la perforación del sondeo.....	38
9.	PLANOS	45
9.1	Plano de situación del sondeo.....	45
9.2	Esquema constructivo del sondeo y corte estratigráfico.....	46
10.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
11.	CONCLUSIONES	48
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de acceso al pozo	10
Figura 2: Mapa topográfico (GEODE)	10
Figura 3: Mapa geológico	10
Figura 4: Mapa litoestratigráfico.....	10
Figura 5: Mapa geológico y de puntos de agua.....	12
Figura 6: Piezometría del sistema acuífero nº 14 según el modelo matemático.	13
Figura 7: Mapa de puntos de agua	14
Figura 8: Gráfico de la evolución piezométrica en el punto ID. 2021-1-0032	15
Figura 9: Gráfico de la evolución piezométrica en el punto ID. 2021-1-0025	15
Figura 10: Total de sólidos disueltos y cloruros.	16
Figura 12: Diagramas de Piper con la representación de la información hidroquímica de los puntos de agua descrita en la tabla 5.	17
Figura 11: Mapa geológico y de puntos de agua.....	18
Figura 13: Curvas características de electrobombas sumergibles comerciales.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Puntos de agua de la muestra seleccionada con información sobre la naturaleza, cota y profundidad.	11
Tabla 2: Puntos de agua de la muestra seleccionada con información litológica.	11
Tabla 3: Características del acuífero detrítico terciario Madrid-Toledo-Cáceres	13
Tabla 4: Puntos de agua de la muestra seleccionada con piezometría.	14
Tabla 5: Puntos de agua de la muestra seleccionada con información hidroquímica.	17
Tabla 6: Parámetros (valor medio) de los puntos de agua con información hidroquímica.	17
Tabla 7: Cronograma planificado para llevar a cabo cada una de las actuaciones.....	22
Tabla 8: Perforación de sondeo.	32
Tabla 9: Testificación geofísica y geológica.....	32
Tabla 10: Dirección facultativa e informe final.	32
Tabla 11: Ensayo de bombeo y análisis de agua.	33
Tabla 12: Presupuesto global.	33
Tabla 13: Coeficientes de cultivo del pistacho.....	34
Tabla 14: Cálculo de la evapotranspiración de cultivo para su localización en Algete.	34
Tabla 15: Cálculo del déficit hídrico.	35

Tabla 16: Necesidades de riego	35
Tabla 17: Riesgo de sodio	36
Tabla 18: Riesgo de carbonato sódico residual	36
Tabla 19: Valores de dureza	36
Tabla 20: Cálculos de la adecuación de la calidad del agua para el cultivo según datos analíticos de la tabla 4.....	36
Tabla 21: Espesores habitualmente considerados en las tuberías de revestimiento de pozos de hasta 200 m de profundidad.....	40
Tabla 22: Selección del sistema de perforación en función de la litología del terreno a perforar y la profundidad y diámetro de la captación.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología.	LIC: Lugares de Interés Comunitario.
CHT: Confederación Hidrográfica del Tajo.	msnm: metros sobre el nivel del mar.
DH: Demarcación Hidrográfica.	N: Número de revoluciones.
ENAC: Entidad Nacional de Acreditación.	NPSHr: Net Positive Suction Head Required.
EPI: Equipo de Protección Individual.	OHSAS: Occupational Health and Safety Assessment Series.
GEODE: Cartografía geológica digital continua a escala 1:50.000	RD: Real Decreto.
IADC: International Association of Drilling Contractors.	s.d.: sin dato
IBA: Important Bird Areas.	TRLA: Texto Refundido de la Ley de Aguas.
Id.: Identificador.	UTM: Universal Transverse Mercator.
IGME: Instituto Geológico y Minero de España.	TFM: Trabajo Fin de Máster
ISO: International Organization for Standardization.	ZEPA: Zonas de Especial Protección para las Aves.
ITC: Instrucción Técnica Complementaria.	

1. RESUMEN

Se realiza el diseño de una captación de aguas subterráneas para uso agrícola. Para ello, se ha seleccionado una parcela rústica en el municipio de Algete (Comunidad de Madrid) donde se ha simulado la realización de un proyecto para el diseño de la captación que suministre agua para una plantación de pistacheros. Para poder llevar a cabo el pozo se debe comenzar por conocer cuál es la demanda hídrica del cultivo. Posteriormente, se realiza un estudio básico que nos aporta la información suficiente sobre las características geológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas del lugar donde se ubica la infraestructura. Una vez realizado el estudio se determina la viabilidad de realizar la perforación. Si es viable, se obtienen las características constructivas del sondeo y el sistema (en nuestro caso utilizando la técnica de rotación por circulación inversa de lodo), equipo de perforación, etapas, coste y cronograma de la ejecución. Se incluyen en el documento las medidas de seguridad y de protección del medioambiente que deben contemplarse para llevar a cabo el proyecto. Se describen los trámites necesarios (autorizaciones y tasas requeridas) con las diferentes autoridades locales, de la comunidad autónoma y estatales. Se incluye el pliego de condiciones, presupuesto y un plano con la información necesaria para poder ejecutar la captación de aguas subterráneas.

2. INTRODUCCIÓN

Se simula la necesidad de realizar una captación de aguas subterráneas en una parcela rústica dentro de la localidad de Algete (Comunidad de Madrid) donde se requiere el suministro de agua para una plantación de árboles pistacheros. Para ello, se realiza un proyecto semejante al requerido en la actualidad por los organismos competentes en las Comunidades Autónomas del Estado Español estructurado en memoria, pliego de condiciones, presupuesto, anexos y planos. Con él, se pretende, a través del cálculo de la demanda hídrica del cultivo y del estudio hidrológico del lugar, llevar a cabo el diseño más adecuado del sondeo teniendo en cuenta las adecuadas medidas de seguridad y de protección del medioambiente, así como, la legislación aplicable y obteniendo la valoración del importe de la obra.

3. OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Máster (TFM) tiene un carácter eminentemente práctico y metodológico y su objetivo fundamental es que mediante su realización se tenga constancia y se ejerciten todos los aspectos que deben considerarse ante la posibilidad de captación de agua subterránea para satisfacer una determinada demanda de agua, en este caso para uso agrícola.

De esta forma como objetivos específicos se pueden establecer los siguientes:

- **Científicos:** Determinar los criterios hidrogeológicos que deben contemplarse cuando se plantea la posibilidad de suministro de agua subterránea a una instalación para determinar sobre su viabilidad tanto en lo referente a los requisitos de calidad como de cantidad.
- **Técnicos:** Diseñar la captación adecuada a las condiciones establecidas en el estudio hidrogeológico previo y a los requerimientos de los equipos de impulsión necesarios, definiendo tanto las características técnicas como económicas del pozo.
- **Legales:** Conocer las disposiciones legales que hay que observar y los procedimientos que hay que considerar para la tramitación de una captación hidrogeológica que incluyen los aspectos medioambientales y de seguridad y salud en la obra.

En definitiva, este TFM tiene un carácter netamente práctico y su realización requiere de una visión integrada de distintos aspectos considerados en el temario del Máster.

4. METODOLOGÍA

La Metodología empleada para la realización de este TFM es la utilizada habitualmente por las empresas consultoras y de ingeniería para la realización del estudio, análisis de viabilidad, diseño y proyecto constructivo de un pozo de captación de aguas subterráneas, así como su tramitación.

Por lo tanto, los trabajos realizados contemplan todos los aspectos necesarios que se deben considerar, planificar y realizar para poder ejecutar un pozo de captación de agua subterránea y poderlo tramitar ante las administraciones competentes. Por esta razón, el presente TFM se presenta en forma de Proyecto constructivo de la obra, con el formato análogo al que es requerido por las distintas administraciones competentes en materia de agua subterránea en nuestro país. Es por ello, que se ha realizado con una visión holística que recoge los requerimientos y procedimientos legales a considerar.

En primer lugar, es preciso establecer la demanda real de agua, de acuerdo con el uso previsto y las dotaciones unitarias necesarias. Es muy importante realizar este cálculo con precisión no sólo para justificar su aprobación en los organismos competentes sino también para efectuar un diseño adecuado del equipamiento electromecánico que a su vez establece requerimientos en el diseño de la captación. Una vez determinados los requerimientos de cantidad y calidad demandados se procede a establecer mediante el estudio hidrogeológico de base la viabilidad de extracción de agua en una determinada parcela, a partir de los datos disponibles. Una vez establecida la viabilidad se determinará las características de diseño derivadas considerando el equipamiento electromecánico a instalar para la elevación del agua subterránea.

Dadas las características prácticas del presente TFM, el mismo, se ha estructurado acorde con los apartados que son necesarios en los proyectos que requiere la administración competente para la autorización de la obra de captación de aguas subterráneas: Memoria, Pliego de Condiciones, Presupuesto y Anexos.

5. MEMORIA

5.1 Antecedentes y Objeto del Proyecto.

El promotor PISTACHOS ALGETE S.A. dispone de una parcela rústica en el Polígono 2 Parcela 97 de El Portillo, Algete (Comunidad de Madrid), con referencia catastral 28009A002000970000GH, en la cual está planificado realizar una plantación extensiva de árbol del pistacho en 4,5 hectáreas de terreno. Con motivo de preservar el recurso hídrico se pretende instalar un sistema de riego por goteo que estará operativo en el periodo comprendido entre los meses de junio y septiembre, siendo más intenso en los meses de julio y agosto. Para un riego adecuado se necesitan, según el estudio de riego realizado 4.011 m³/ha y año (ver anexo 8.1) por lo que es necesario contar con una dotación de 18.050 m³/año para la extensión de terreno disponible siendo el caudal nominal necesario de 4,68 L/s para un riego diario de 12 horas al día en el mes de mayor demanda hídrica (mes de julio).

Dada la dotación y para garantizar la disponibilidad de agua es necesaria la realización de un pozo para la extracción de agua dentro de la propia parcela donde se emplazará el cultivo. Para ello se precisa de un proyecto de construcción de captación de aguas subterráneas que cumpla con los requisitos de la legislación vigente.

5.2 Situación del sondeo.

En el Plano n.º 1 (apartado 9.1) se presenta la situación del pozo proyectado. El pozo se encuentra ubicado en la localidad de Algete (Comunidad de Madrid) a la cota de 705 msnm en las coordenadas UTM 30N, X: 458.580; Y: 4.495.404. El acceso desde Algete se realiza a través de la carretera M-123.

En cuanto a la topografía de la parcela, la superficie se encuentra entre las isolíneas topográficas de 720 msnm (zona sureste) y 700 msnm (zona norte).

Con relación a los valores meteorológicos normales de la zona, según datos de la AEMET para la estación meteorológica más cercana (Madrid-Aeropuerto), la temperatura mensual media oscila entre un valor mínimo de 5,5°C en el mes de enero y 25,2°C en el mes de julio con una temperatura anual media de 14,5°C. El dato de precipitaciones medias anuales es de 371 mm.

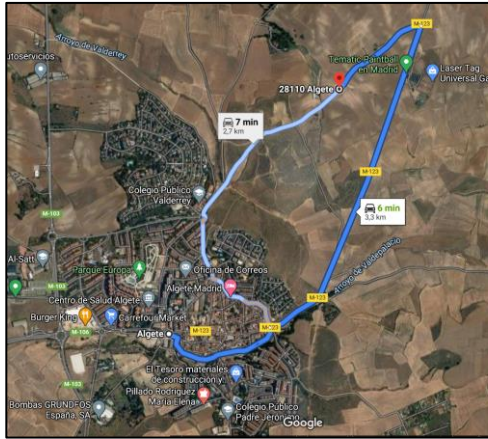


Figura 1: Mapa de acceso al pozo
(<http://maps.google.es>)

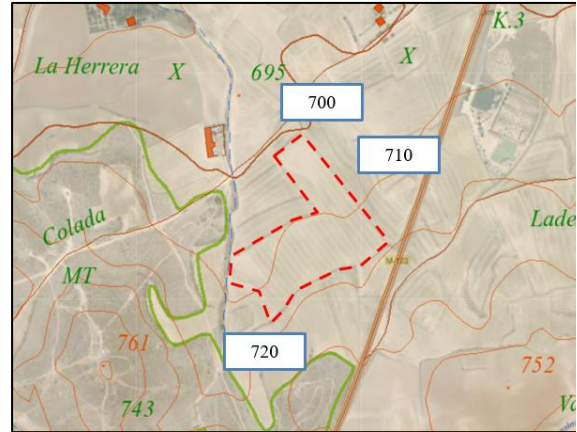


Figura 2: Mapa topográfico (GEODE)
(<http://info.igme.es/visorweb/>)

5.3 Contexto geológico, hidrogeológico e hidroquímico de la zona.

5.3.1 Geología

A. MARCO GEOLÓGICO

La información geológica se obtiene de la base de datos del visor web del IGME (<http://info.igme.es/visorweb/>).

A nivel geológico, la parcela se encuentra dividida por dos unidades geológicas. En la zona norte, y en menor extensión, se describe la unidad geológica 1 como arcosas blancas y fangos arcósicos rojos y en el resto de la parcela, unidad geológica 5, como arcosas gruesas y limos rojos.

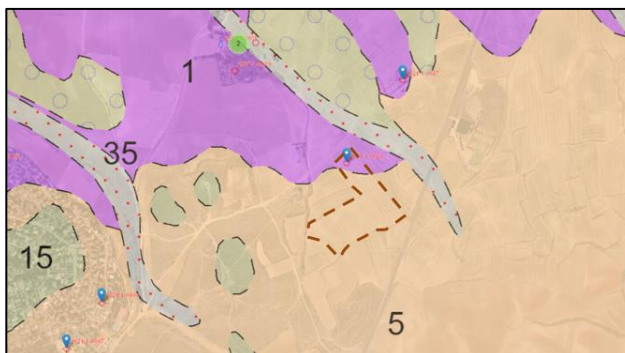


Figura 3: Mapa geológico
(<http://info.igme.es/BDAguas/>)

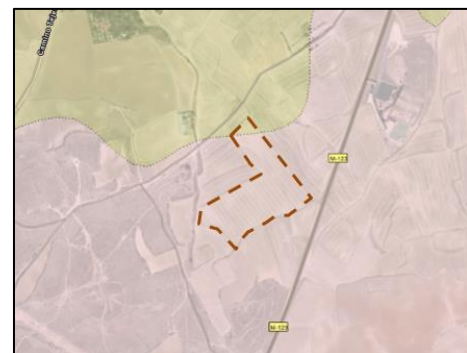


Figura 4: Mapa litoestratigráfico
(<http://info.igme.es/BDAguas/>)

A nivel litológico, la parcela se encuentra en una zona de areniscas, conglomerados, arcillas, calizas y evaporitas. Es atravesada por dos zonas litoestratigráficas de permeabilidad media.

La primera, en la parte norte, y en menor extensión, está formada por arcosas a veces con cantos, lutitas, margas, calizas y, localmente nódulos de sílex y yeso (pertenece a la era Cenozoico, sistema Neógeno, serie Mioceno, piso Aquitaniense-Tortonense). El resto de la parcela está formada por arcosas gruesas, a veces con cantos, limos y fangos arcósicos (pertenece a la era Cenozoico, sistema Neógeno, serie Mioceno-Plioceno, piso Turoliense-Rusciniense).

B. INFORMACIÓN LITOLÓGICA DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

A continuación, se exponen aquellos puntos de los que se dispone de información litológica procedentes de la base de datos de puntos de agua del IGME (<http://info.igme.es/BDAguas/>):

Tabla 1: Puntos de agua de la muestra seleccionada con información sobre la naturaleza, cota y profundidad.

Id	Naturaleza	Cota (m)	Profundidad (m)	Coordenada X (UTM ED50)	Coordenada Y (UTM ED50)
2021-1-0031	Manantial	687	s.d.	458253	4495992
2021-1-0098	Sondeo	656	147	456746	4495442
2021-1-0004	Pozo	695	12,5	457400	4494853
2021-1-0032	Sondeo	696	250	459733	4495989

Tabla 2: Puntos de agua de la muestra seleccionada con información litológica.

Id	Orden	Edad	Litología	Prof. techo (m)	Prof. muro (m)	Conexión	Acuífero
2021-1-0031	1	Cuaternario	Arenas	0	0	No se sabe	Sí
2021-1-0098	1	Mioceno	Arenas	22	27	No se sabe	Sí
2021-1-0004	1	Cuaternario	Arenas y gravas	12,4	12,5	No se sabe	Sí
2021-1-0032	1	Mioceno	Arenas	156	159	No se sabe	Sí
	2	Mioceno	Arenas	211	212	No se sabe	Sí

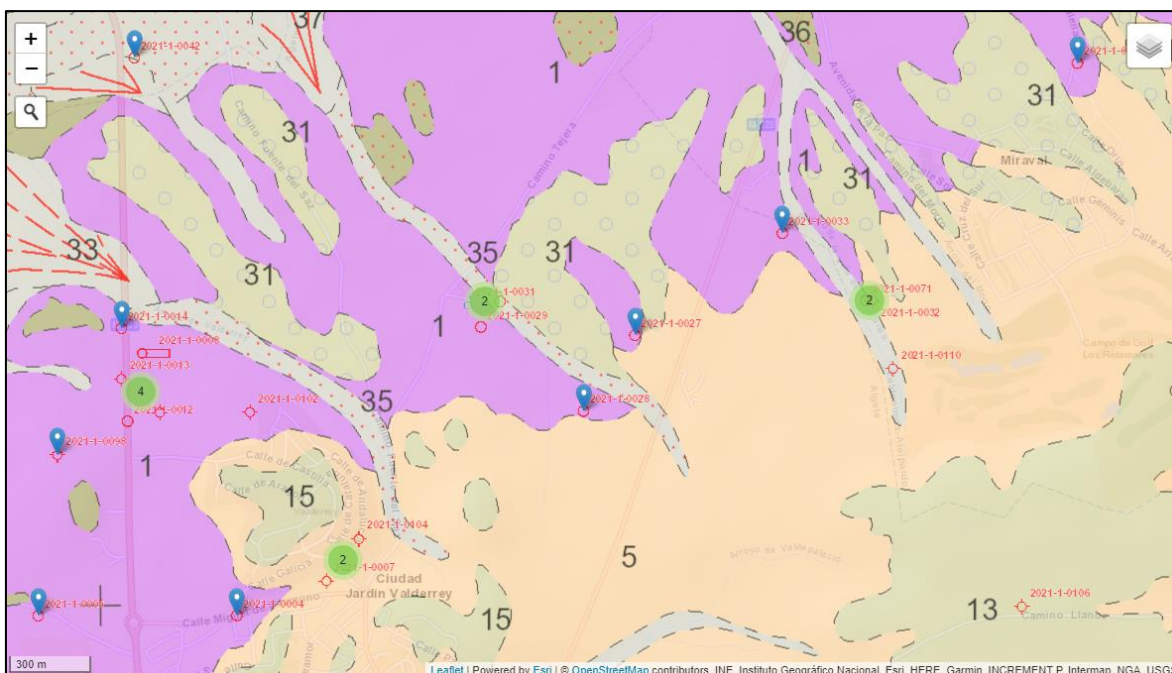


Figura 5: Mapa geológico y de puntos de agua (<http://info.igme.es/BDAguas/>)

A partir de los datos obtenidos se concluye la presencia de arenas y gravas en la zona. Se observa que el espesor o potencia del acuífero en la zona es próximo a los 250 m.

5.3.2 Hidrogeología

A. MARCO HIDROGEOLÓGICO

La parcela se encuentra sobre el sistema acuífero detrítico terciario de Madrid-Toledo-Cáceres el cual está formado por arcosas, arcillas arenosas, limos y conglomerados y en conjunto funciona como un acuífero libre heterogéneo y anisótropo (INTECSA, 1988).

Según el mapa de permeabilidades, se trata de acuíferos extensos, discontinuos y locales de permeabilidad y producción moderada donde no excluyen la existencia en profundidad de otros acuíferos cautivos y más productivos.

Con relación al nivel piezométrico esperado, la parcela se encuentra ubicada, aproximadamente, en la isopieza 660 msnm. El consumo de agua en la zona, según el mapa hidrogeológico editado en 1997, es de unos 300.000 m³/año. La transmisividad esperada, según el mapa de isotransmisividades, que se encuentra dentro del mapa hidrogeológico de referencia, indica que el valor de transmisividad oscila entre 5 y 10 m²/día. Datos obtenidos del Mapa Hidrogeológico de Madrid Hoja 45 (5-6) del IGME.

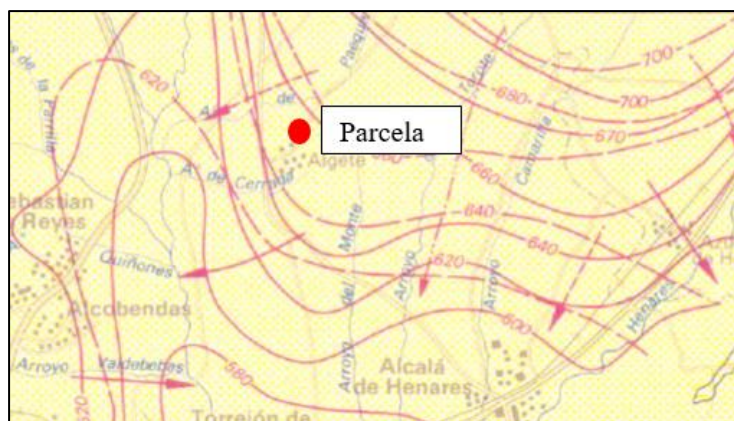


Figura 6: Piezometría del sistema acuífero nº 14 según el modelo matemático. Información obtenida del Mapa Hidrogeológico Madrid Hoja 45 (5-6) auxiliar del IGME.

Según el Sistema de Información de Recursos Subterráneos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (<https://sig.mapama.gob.es/redes-seguimiento/>), la parcela se ubica sobre la masa de agua subterránea de Guadalajara con código **ES030MSBT030-006** la cual queda exenta de las limitaciones de las zonas de especial protección según el artículo 29.5 del Anexo V. Plan Hidrológico de la parte española de la DH del TAJO (2015-2021).

Tabla 3: Características del acuífero detrítico terciario Madrid-Toledo-Cáceres (IGME, 1997)

Potencia media de 1500 m
Material niveles más permeables: lentejones de arenas y gravas
Material niveles menos permeables: arcillas limos y arenas arcillosas.
Zona de recarga: interfluvio a partir de infiltración directa de aguas de lluvia
Zona de descarga: zonas más bajas o valles.
Porcentaje del acuífero por capas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Potencia 0 – 200 m: 72 % del total del acuífero. ○ Potencia 200 – 400 m: 20 % del total del acuífero. ○ Potencia 400 – 600 m: 8 % del total del acuífero.
Conos de depresión creados por los bombeos son profundos y de poca extensión superficial.
El acuífero presenta una gran inercia, no afectando a los bombeos en el transcurso de un año a zonas situadas a más de 4 km de distancia.
Transmisividades: entre 5 y 50 m ² /d (con máximas superiores a 200 m ² /d)

B. INFORMACIÓN PIEZOMÉTRICA DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Se ha recopilado información relacionada con los puntos de agua de la base de datos del IGME en las zonas aledañas a la parcela. Contemplándose en el alcance un total de 103 puntos con información disponible.

De todos los puntos identificados se observa una mayor cantidad sobre la unidad geológica 1 (ver figura 5). Se ha obtenido una muestra de 12 puntos de agua sobre la que se realiza el estudio y se ha identificado el pozo Id. 2021-1-0028 el cual, según la base de datos de puntos de agua del IGME se encuentra dentro de la parcela en las coordenadas UTM ED50 X 458.673 Y 4.495.591 (Huso 30) a la cota 705 msnm con una profundidad de 5,5 m, realizado para uso ganadería, excavado y para equipo manual de elevación. Consta un dato de piezometría con fecha 19/05/1972 en el que la profundidad del agua es de 2,99 m y el nivel piezométrico de 702,01 msnm.

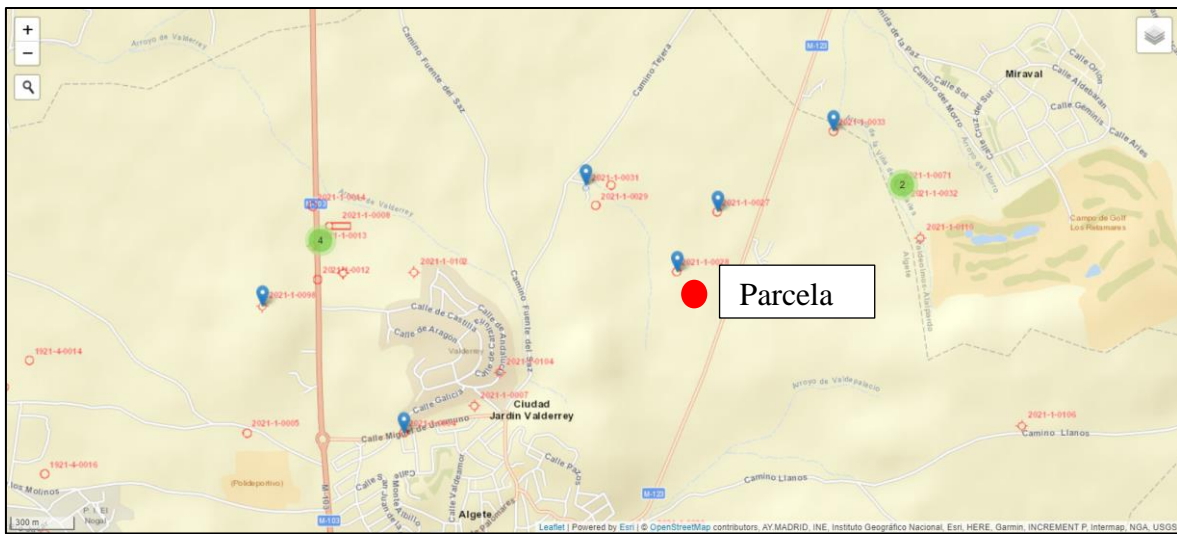


Figura 7: Mapa de puntos de agua (<http://info.igme.es/BDAguas/>)

Tabla 4: Puntos de agua de la muestra seleccionada con piezometría. (<http://info.igme.es/BDAguas/>).

Id	Naturaleza	Cota (m)	Profundidad (m)	Fecha Piezometría	Profundidad del agua (m)	Nivel piezom. (msnm)	Fecha Hidrometría	Caudal (L/s)
2021-1-0028	Pozo	705	5,5	19/05/1972	2,99	702,01	s.d.	s.d.
2021-1-0031	Manantial	687	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	19/05/1972	0,25
2021-1-0027	Pozo	705	12,1	19/05/1972	6,92	698,08	19/05/1972	6,72
2021-1-0033	Pozo	691	8,7	19/05/1972	3,01	687,99	19/05/1972	4,03
2021-1-0012	Pozo	685	7	18/05/1972	2,23	682,77	18/05/1972	7,2
2021-1-0013	Sondeo	674	180	18/05/1972	48,59	625,41	18/05/1972	5,60
2021-1-0008	Pozo con galería o taladro horizontal	680	22,5	12/05/1972	15,50	664,50	12/05/1972	0,59
2021-1-0014	Pozo	675	12	18/05/1972	2,25	672,75	18/05/1972	1,01
2021-1-0098	Sondeo	656	147	s.d.	s.d.	s.d.	01/08/1972	16,2
2021-1-0004	Pozo	695	12,5	12/05/1972	9,30	685,70	s.d.	s.d.
2021-1-0032	Sondeo	696	250	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
2021-1-0071	Pozo	697	4,5	02/06/1972	0,50	696,50	s.d.	s.d.

De entre los puntos de interés mostrados en la tabla anterior, se observa la presencia del punto Id. 2021-1-0031 cercano a la parcela de referencia en el que existe un manantial en la cota 687 msnm.

Se dispone de la evolución piezométrica en el punto Id. 2021-1-0032 correspondiente a un sondeo.

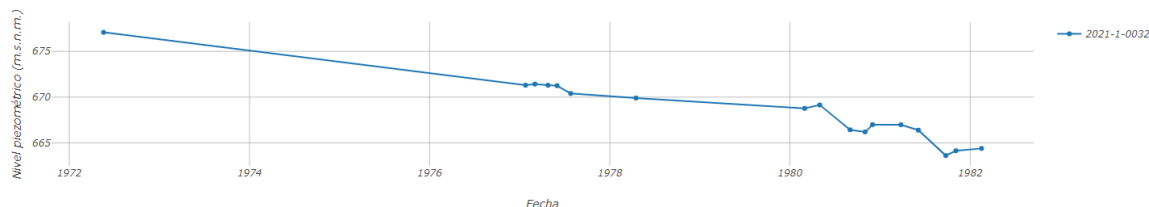


Figura 8: Gráfico de la evolución piezométrica en el punto ID. 2021-1-0032 (<http://info.igme.es/BDAguas/>)

Con la evolución del gráfico anterior observamos un descenso del nivel, en 10 años, superior a los 10 m.

En el punto Id. 2021-1-0025 (contemplado posteriormente en el siguiente subapartado sobre el estudio hidroquímico) sondeo ubicado en las coordenadas UTM ED50 X 457.324 Y 4.493.991 (Huso 30) a la cota 693 msnm con una profundidad de 120 m se dispone de la evolución piezométrica en un periodo superior de años con respecto al anterior punto.

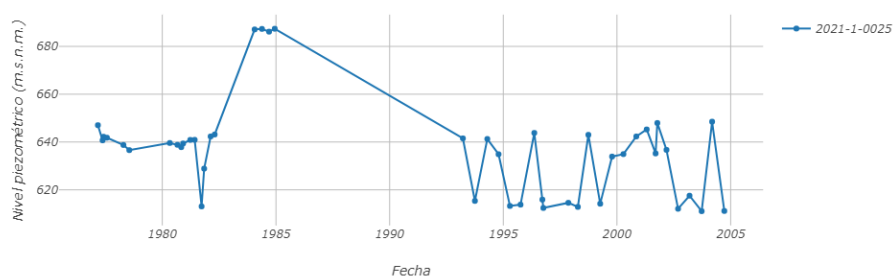


Figura 9: Gráfico de la evolución piezométrica en el punto ID. 2021-1-0025 (<http://info.igme.es/BDAguas/>)

A la vista de este gráfico, se observa un descenso del nivel piezométrico desde el año 1977 (nivel piezométrico 647,03 msnm) hasta el 2004 (nivel piezométrico 611,15 msnm) de 36 m. En este último punto destaca que el nivel piezométrico alcance un máximo en 1984 en su evolución obteniéndose el dato de 687 msnm. Podemos admitir que los descensos esperados sobre los datos de los años 70 de al menos unos 40 metros.

5.3.3 Hidroquímica

A. INFORMACIÓN HIDROQUÍMICA

La calidad química de las aguas subterráneas del acuífero detrítico terciario en Madrid presenta variaciones tanto en superficie como en profundidad, aunque normalmente suele ser buena y apta para los diferentes usos. En general, son aguas de dureza media (entre 12 y 35 °F), conductividades comprendidas entre 200 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que aumentan hacia el sur y el oeste. El total de sólidos disueltos de estas aguas están comprendidos entre 200 y 500 ppm, y el contenido en cloruros entre 10 y 100 ppm aumentando en general hacia el suroeste. Finalmente, por su contenido iónico se clasifican como bicarbonatadas cálcicas o sódicas. (IGME, 1997).

Atendiendo a la vulnerabilidad, según el Mapa Hidrogeológico de Madrid Hoja 45 (5-6) del IGME, la parcela se encuentra en zona poco vulnerable, en principio, que requiere estudios complementarios con vistas a la realización de vertidos. Materiales de permeabilidad media por porosidad y poco permeables. Según se observa en la figura 10, el contenido total de sólidos disueltos en la zona definido por las isolíneas es de 500 ppm y el contenido en cloruros se encuentra alrededor de 50 ppm.

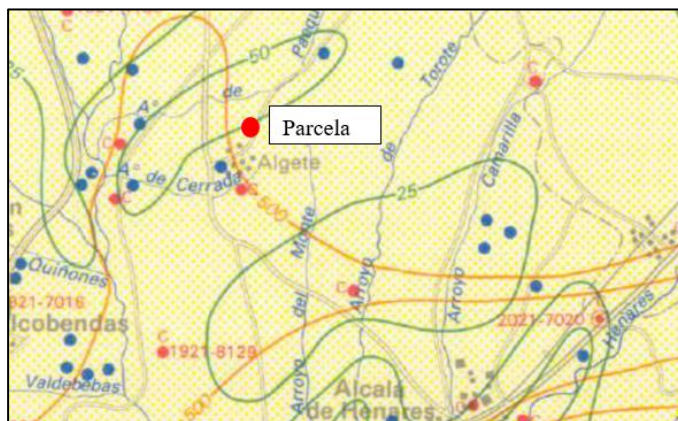


Figura 10: Total de sólidos disueltos y cloruros. Información obtenida del Mapa Hidrogeológico Madrid Hoja 45 (5-6) auxiliar del IGME.

B. DATOS HIDROQUÍMICOS DEL INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Los puntos que disponemos con información hidroquímica en los alrededores de la parcela son los siguientes:

Tabla 5: Puntos de agua de la muestra seleccionada con información hidroquímica. (<http://info.igme.es/BDAguas/>)

Id	Naturaleza	Cota (m)	Profundidad(m)	Coordenada X (UTM ED50)	Coordenada Y (UTM ED50)
1921-4-0019	Sondeo	644	120	455680	4494150
2021-1-0025	Sondeo	693	120	457324	4493991
2021-1-0041	Sondeo	664	50	457156	4497414

Tabla 6: Parámetros (valor medio) de los puntos de agua con información hidroquímica. (<http://info.igme.es/BDAguas/>)

Parámetro	2021-1-0041 (años 1992-2002) 19 muestras	2021-1-0025 (años 1984-2002) 23 muestras	1921-4-0019 (01/04/1983) 1 muestra
Cl (mg/L)	72,7	39,6	85,0
SO ₄ (mg/L)	90,7	29,8	376,0
HCO ₃ (mg/L)	381,2	249,0	500,0
CO ₃ (mg/L)	2,9	3,4	s.d.
NO ₃ (mg/L)	60,4	22,4	18,0
Na (mg/L)	91,4	53,7	93,0
Mg (mg/L)	41,6	12,9	82,0
Ca (mg/L)	80,2	59,3	224,0
K (mg/L)	3,9	2,3	2,0
PH	7,7	7,9	7,0
Conductividad 20° (µS/cm)	970,3	545,6	107,0
RS (180° C mg/L)	s.d.	s.d.	s.d.
DQO (mg/L O ₂)	14,6	7,8	s.d.
NO ₂ (mg/L)	4,7	2,8	s.d.
NH ₄ (mg/L)	2,4	5,5	s.d.
SiO ₂ (mg/L)	391,9	296,9	s.d.
PO ₄ (mg/L)	38,3	19,8	s.d.

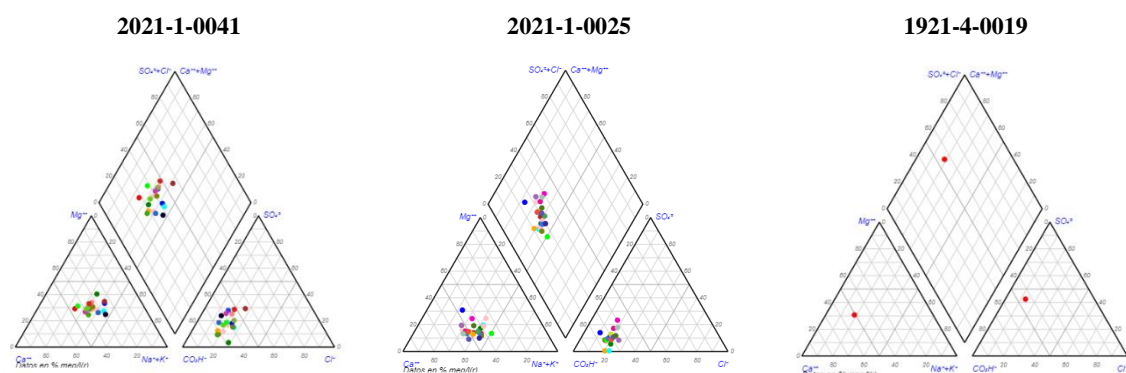


Figura 11: Diagramas de Piper con la representación de la información hidroquímica de los puntos de agua descrita en la tabla 6. (<http://info.igme.es/BDAguas/>).

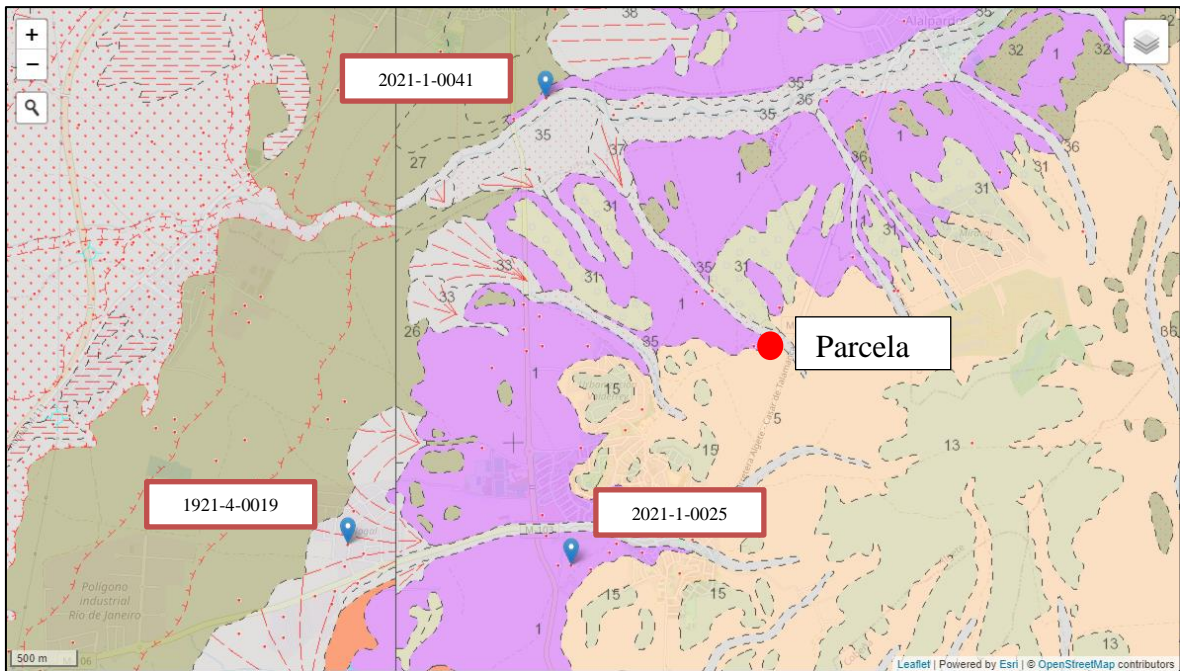


Figura 12: Mapa geológico y de puntos de agua. (<http://info.igme.es/BDAguas/>).

Según se observa en los diagramas Piper se concluye que se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas.

Según los cálculos realizados en el anexo 8.2, se concluye que la calidad del agua es aceptable para el cultivo con posible riesgo de obstrucción de los ramales y goteros debido a su clasificación como agua dura para los tres puntos de agua tomados como referencia.

5.4 Características constructivas del sondeo.

Teniendo en cuenta la información del estudio hidrogeológico realizado se determina las características constructivas del sondeo. Para la realización del diseño se ha considerado un caudal de extracción de 4,68 L/s obteniéndose, según lo calculado en el anexo 8.3 los siguientes valores sobre las cotas piezométricas, la profundidad y diámetro requeridos del pozo:

5.4.1 Profundidad de diseño del sondeo.

- Cota topográfica del emboquille del sondeo: 705 msnm.
- Nivel estático esperado: 640 msnm.
- Descenso dinámico (calculado según ecuación de Thiem): 72 m.
- Nivel dinámico esperado: 568 msnm.

- Profundidad mínima del sondeo para no quedarse seco: 137 m ($= 705\text{ m} - 568\text{ m}$).
- Profundidad adicional para garantizar superficie de paso suficiente: 100 m.
- Profundidad teórica: 237 m ($= 137\text{ m} + 100\text{ m}$).
- Profundidad del sondeo en previsión de futuros descensos: 250 m.
- Desviación máxima de la perforación: 1,25 m

5.4.2 Dimensiones y características esperadas de la bomba.

- Diámetro esperado de la bomba: 142 mm
- NPSHr esperado: 4,06 m
- Campana de aspiración: Sí

5.4.3 Diámetro del sondeo, entubado y características de los filtros.

- Diámetro entubado: 250 mm
- Espesor entubado: 6 mm
- Material: acero al carbono helicoidal S235JR
- Diámetro del sondeo: 450 mm o 18 pulgadas (se indica en pulgadas debido a que es el sistema de unidades habitual para la selección de los útiles de perforación).
- Cementación en cabeza del sondeo: De 0 a 10 m de profundidad para evitar contaminación superficial.
- Empaque de gravas: Sí, en el espacio anular de 450 - 250 mm, entre las profundidades de 10 - 250 m, lo que supone un total de grava de 43 toneladas.
- Tipo de grava: Silíceo calibrada.
- Granulometría de gravas: entre 3 y 6 mm.
- Tipo de filtro en la tubería filtrante: Puentecllo.
- Longitud del tramo filtrante: 80 m (30 % del total).
- Abertura del filtro: 1,5 mm

5.5 Sistema, equipo de perforación, etapas y cronograma de ejecución.

5.5.1 Sistema y equipo de perforación.

De acuerdo con el anexo 8.4 para la perforación se utilizará la técnica de **sondeo continuo de rotación, con circulación inversa de lodo y con tricono de 18 pulgadas (450 mm)**. Será necesario un equipo de perforación compuesto por la sarta de perforación, cabeza de

rotación y compresor de media presión para la circulación inversa.

Según lo calculado en el anexo 8.4 se consideran las siguientes variables de perforación para la técnica seleccionada:

- Empuje sobre la roca del útil de perforación:
 - Empuje mínimo: 10.260 libras o 45,6 kN
 - Empuje máximo: 20.520 libras o 91,3 kN
 - Empuje límite: 275.400 libras o 1225,0 kN
- Capacidad de empuje de la máquina: 26.676 libras o 118,7 kN
- Velocidad de rotación: entre 75 y 160 rpm
- Potencia de rotación:
 - Para N = 75 rpm: 10,5 HP o 7,8 kW
 - Para N = 160 rpm: 70,1 HP o 52,3 kW
- Par de rotación
 - Para N = 75 rpm: 735 libras·pies o 996 N·m
 - Para N = 160 rpm: 2.300 libras·pies o 3.118 N·m
- Velocidad media de penetración (con cabezales de rotación): entre 40 y 50 m/día.
- Tipo de tricono: tricono de 18 pulgadas (código IADC 1-1-1) al menos de dientes para formaciones blandas con baja resistencia a la compresión y alta perforabilidad; resistencia de roca blanca; estándar de rodamientos cilíndricos abiertos.
- Potencia del cabrestante de elevación de las varillas (potencia del equipo): 61 kW.

5.5.2 Etapas y actividades para la ejecución del sondeo

Para la realización de las obras se consideran necesarias las siguientes etapas:

- **Preparación de accesos y emplazamiento del equipo:**
 - Realización de un acceso al punto de perforación y nivelado del terreno.
 - Acondicionamiento de la zona de descarga y acopio de materiales de obra en las inmediaciones.
 - Protección del suelo con superficies impermeables (contaminación suelos).
 - Delimitación y señalización del lugar de trabajo.
 - Preparación de una balsa para la recogida de detritus y llenado de agua.

- **Perforación:**
 - Colocación de la máquina perforadora.
 - Perforación del sondeo por rotación con circulación inversa de lodo.
 - Recogida de detritus producto del sondeo.
 - Control de detritus.
- **Testificación geológica y geofísica:**
 - Caracterización de detritus para el diseño de la entubación.
 - Obtención de datos hidrogeológicos y de calidad de las aguas.
 - Verificación de la verticalidad de la construcción.
- **Entubación:**
 - Entubación de emboquille.
 - Selección de tubería de entubado (material y espesor).
 - Selección de tramos filtrantes y abertura de los filtros de puentecillo
 - Colocación de tubería en el pozo
- **Engravillado y cementación:**
 - Diseño del engravillado.
 - Rellenado de grava del espacio anular entre 250 y 10 m de profundidad.
 - Cementación de 0 a 10 m de profundidad.
- **Limpieza del pozo:**
 - Inyección de agua limpia con bombeo y parada.
- **Desarrollo del pozo.**
- **Ensayo de bombeo.**
- **Acabado final y restauración de terrenos:**
 - Adecuación de la balsa de lodos.
 - Gestión de residuos de lodos.
 - Restauración condiciones originales del terreno.

5.5.3 Cronograma de ejecución

El plazo de ejecución de las obras para la captación de aguas subterráneas será de **14 días hábiles** a partir del inicio de las obras.

Tabla 7: Cronograma planificado para llevar a cabo cada una de las actuaciones.

ETAPAS	DÍA													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Preparación de accesos y emplazamiento del equipo														
Perforación														
Testificación geológica y geofísica														
Entubación														
Engravillado														
Limpieza del pozo														
Desarrollo del pozo														
Ensayo de bombeo														
Acabado final y restauración de terrenos														

5.6 Medidas de Seguridad.

En materia laboral de seguridad y salud, en las obras de captación de aguas subterráneas son de aplicación la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales y las diferentes normas que la desarrollan.

Como aspectos importantes en materia de seguridad y salud:

- Se requerirá, por parte de la Administración competente, de un proyecto constructivo que será realizado por un técnico competente, designado por el promotor, y al mismo tiempo conocedor de la técnica minera y de las normas de seguridad y salud.
- Las empresas de perforación (contratista) deben presentar el Documento de Seguridad y Salud que se aplicará a todas las actividades previstas.
- El promotor designará, antes del inicio de las obras, a un Director Facultativo responsable de los trabajos y se dará cuenta a la autoridad minera competente.
- El promotor designará a un Responsable de Seguridad y Salud.
- A la finalización de los trabajos el Director Facultativo extenderá el Certificado Final de Obra que permita proceder a la puesta en servicio de la instalación.

Durante la ejecución de la obra deberá tenerse en cuenta lo incluido en el Documento de Seguridad y Salud y en las Disposiciones Internas de Seguridad establecidas por la Dirección Facultativa de la obra.

5.7 Medidas de protección del medioambiente.

Según el Sistema de Información Geográfico Geo Portal del Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico (<https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>) la parcela se encuentra ubicada dentro de:

- Zona de especial protección para aves (ZEPA ES0000139 - Estepas Cerealistas de los ríos Jarama y Henares).
- Red Natura 2000.
- Áreas importantes para la conservación de aves (IBA 74 - Talamanca – Camarma).
- Lugar de importancia comunitaria (LIC ES3110001 - Cuencas de los ríos Jarama y Henares).
- Zona de captación de agua de zona sensible (ESCM844).

Debido a que se va a realizar una perforación de más de 120 metros para el abastecimiento de agua, según lo indicado en el Anexo II grupo 3 de la Ley 21/2013 de Evaluación de Impacto Ambiental, es prescriptivo realizar una **evaluación de impacto ambiental simplificada** regulada en el título II, capítulo II, sección 2.^a de la citada Ley. Según lo establecido en el artículo 45 de la Ley 21/2013 Dentro del procedimiento sustantivo de autorización del proyecto, el promotor presentará ante el órgano sustantivo, junto con la documentación exigida por la legislación sectorial, una solicitud de inicio de la evaluación de impacto ambiental simplificada, acompañada del documento ambiental.

Una vez iniciadas las obras deberán minimizarse los impactos ambientales de la obra en su entorno para preservar el medio natural. Como medidas preventivas para la protección del medioambiente se deben disponer de contenedores en obra para la recogida de los distintos tipos de residuos y disponer de superficies impermeables que impidan la contaminación del suelo, así como absorbentes que puedan ser utilizados en caso de derrame. A la hora de preparar accesos y realizar la balsa deberá evitarse causar daños al medio ambiente. Es especialmente importante impermeabilizar la balsa para evitar infiltraciones al subsuelo. Se debe tener presente que en caso de vertido durante la ejecución de las obras deberá evitarse que llegue a masas de agua, siendo recogido para su posterior evacuación como residuo a través de gestor autorizado. Los residuos generados en la obra (residuos asimilables a urbanos, inertes y peligrosos) deberán ser retirados de la obra por un gestor autorizado.

5.8 Legislación básica aplicable.

Legislación minera:

- Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas.
- Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera y las Instrucciones Técnicas que lo desarrollan (ITC) mediante órdenes.
- Etc.

Legislación en materia de Seguridad y Salud Laboral:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Etc.

Legislación en materia de Medio Ambiente:

- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
- Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid
- Etc.

Legislación en materia de aprovechamiento de aguas:

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- Etc.

5.9 Autorizaciones, tasas y tramitaciones ante la administración pública.

El promotor, antes del inicio de los trabajos tiene que cumplimentar una serie de modelos para recabar las autorizaciones y proceder al pago de tasas para ejecutar la obra de captación de aguas subterráneas.

5.9.1 D. G. de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.

- A. Previamente al inicio de las obras se requiere la aprobación del proyecto para la prospección y explotación de aguas subterráneas mediante la aplicación de técnica minera según el modelo 171F1 del anexo I de la Resolución de 20 de enero de 2017, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se publica el modelo de impreso correspondiente al trámite relativo a la aprobación del proyecto de prospección y explotación de aguas subterráneas mediante la aplicación de técnica minera. Acompañarán a la solicitud el documento justificativo del pago de la tasa, el proyecto de los trabajos de prospección y explotación firmado por un técnico titulado competente, Documento de Seguridad y Salud y la declaración responsable del proyectista. A su vez, se requiere la presentación de la solicitud de inicio de la evaluación de impacto ambiental simplificada, acompañada del documento ambiental según lo regulado en el título II, capítulo II, sección 2.^a de la Ley 21/2013 de Evaluación de Impacto Ambiental.
- B. Previamente al inicio de la actividad y siempre con quince días de antelación, el titular de la actividad minera debe comunicar el nombramiento del Director Facultativo. Deberá utilizarse los modelos 2386F1 del anexo I y 2386FA1 del anexo IV de la Resolución de 28 de agosto de 2017, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se publican los modelos de impresos correspondientes a diversos trámites relativos a comunicación de nombramiento, sustitución y renuncia de Directores Facultativos en actividades mineras.
- C. A la finalización de los trabajos se presentará el Certificado de Fin de Obra, firmado por el Director Facultativo.

5.9.2 Ayuntamiento de Algete.

- A. Previamente al inicio de las obras se cumplimentará el modelo propuesto por el Ayuntamiento de Algete de declaración responsable para ejecución de obras, implantación o modificación de actividades económicas en el ámbito de la ley 2/2012 de 12 de junio, de dinamización de la actividad comercial en la Comunidad de Madrid. Acompañarán a la solicitud la declaración responsable del proyectista y el abono de las tasas correspondientes.

5.9.3 Confederación Hidrográfica del Tajo.

- A. La dotación de agua prevista en el proyecto ($18.050 \text{ m}^3/\text{año}$ y $4,68 \text{ L/s}$ de caudal instantáneo) no cumple con los requisitos del artículo 54 – Usos privativos por disposición legal del Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA). Por ello, es necesaria la solicitud de nueva concesión de aguas para riego como uso privativo por concesión (artículo 59 y siguientes del TRLA) ante la CHT. La clasificación de la solicitud se encuadra en el TIPO 2 (volumen máximo anual menor a $100.000 \text{ m}^3/\text{año}$ y mayor o igual a $50.000 \text{ m}^3/\text{año}$; caudal máximo instantáneo menor a 8 l/s y mayor o igual a 4 l/s) para el cual no es necesario realizar el trámite de competencia de proyectos, por lo que se debe rellenar la instancia completa, y la documentación técnica debe incluir un proyecto de la concesión suscrito por técnico competente. Acompañará la solicitud la acreditación de la representación, documento que acredite la propiedad de las tierras a regar, justificación técnica de las necesidades de agua, documentación descriptiva de las infraestructuras con el proyecto o anteproyecto de las obras asociadas a la concesión, sistema propuesto para el control efectivo de los volúmenes y caudales de agua utilizados.

5.10 Funciones del Director Facultativo.

Son funciones generales del Director Facultativos: ser el responsable técnico y legal de la obra; realizar labores de control y supervisión de la obra; verificar si se están llevando a cabo las medidas de seguridad que se recogen en las Disposiciones de Seguridad y Salud y en el Documento de Seguridad y Salud; emitir el certificado final de obra.

6. PLIEGO DE CONDICIONES

6.1 Condiciones Generales.

6.1.1 Disposiciones legales

Es de aplicación la siguiente legislación vigente indicada en la memoria.

6.1.2 Dirección de la obra

- La obra será dirigida y supervisada por el Director Facultativo nombrado por el promotor. Le acompañarán en la obra un Hidrogeólogo y Responsable de Seguridad.

6.1.3 Responsabilidad del contratista

- Será responsabilidad del contratista ejecutar las obras de acuerdo con el presente proyecto y cumplir con lo establecido en el Documento de Seguridad y Salud.

6.1.4 Personal y medios

- El contratista pondrá a disposición los medios y personal necesario para la ejecución de la obra según lo descrito en el proyecto. En ningún caso podrá subcontratar los trabajos ni retirar los medios sin haber finalizado las obras.

6.1.5 Precauciones especiales durante la ejecución de los trabajos

- El contratista deberá llevar a cabo todas aquellas actividades necesarias para delimitar y proteger la obra frente al acceso de personal no autorizado. Al mismo tiempo realizará todas aquellas medidas encaminadas a mantener en las adecuadas condiciones de seguridad y salud el lugar de trabajo tomando medidas, cuando sea necesario, para la protección del medio ambiente.

6.1.6 Inspección de los medios dispuestos y los trabajos desarrollados por el contratista

- El Directo Facultativo, o en la persona que delegue, podrá realizar inspección de los medios dispuestos y los trabajos desarrollados por el contratista teniendo la obligación, este último, de facilitar toda la información solicitada en cada momento.

6.1.7 Materiales

- Los materiales utilizados deberán ser aprobados por el Director Facultativo de la obra, para ello, el contratista deberá aportar las fichas técnicas y de seguridad de todos los materiales y productos utilizados en la obra para su aprobación.
- El Director Facultativo podrá requerir certificados, pruebas y ensayos de los diferentes materiales incorporados a la obra:

6.1.8 Maquinaria de perforación

- La maquinaria utilizada por el contratista deberá tener una capacidad de empuje de al menos 119 kN para una velocidad de rotación comprendida entre 75 y 160 rpm y un par

de rotación comprendido superior a 1.000 N·m siempre en función de la velocidad de rotación seleccionada y empuje. La capacidad de penetración en el terreno deberá ser de 250 m.

- El útil de perforación utilizado por el contratista consistirá en un tricono de 18 pulgadas o 450 mm (código IADC 1-1-1) al menos con las siguientes especificaciones: de dientes para formaciones blandas con baja resistencia a la compresión y alta perforabilidad; resistencia de roca blanca; estándar de rodamientos cilíndricos abiertos.

6.1.9 Suministros y acopios

- El contratista se responsabilizará de los suministros y acopios en la obra. Deberá protegerlos para evitar su deterioro y mantenerlos en un adecuado estado de orden y limpieza.

6.1.10 Replanteo

- El emplazamiento de la obra se encuentra descrito en el proyecto. El Director Facultativo identificará el punto exacto del sondeo en el terreno al contratista quien respetará la ubicación seleccionada. En ese acto se firmará el acta de replanteo por cada una de las partes interesadas.

6.1.11 Preparación de accesos y emplazamiento del equipo

- El contratista deberá realizar los accesos al punto de perforación contemplando la correcta circulación de la maquinaria presente en la obra en algún momento. A su vez deberá nivelar el terreno para la ubicación estable de la máquina perforadora.
- El contratista protegerá el suelo con superficies impermeables que impidan la contaminación del terreno en aquellos casos en los que sea necesario.
- El contratista delimitará con vallado perimetral y señalizará el lugar de trabajo basado en lo reflejado en el Documento de Seguridad y Salud.
- El contratista realizará una balsa para la recogida de detritus y llenado de agua.

6.1.12 Perforación

- El contratista deberá colocar la máquina perforadora sobre una superficie nivelada y resistente a los esfuerzos requeridos.

- El contratista realizará la perforación del sondeo por rotación con circulación inversa de lodo para un diámetro de sondeo de 450 mm y profundidad de 250 m según lo indicado en el apartado 6.1.8 del pliego de condiciones y realizando un emboquille de diámetro superior en los primeros 10 metros de terreno.
- El contratista asegurará una velocidad de ascensión de lodos entre 15 y 25 m/min.
- El contratista recogerá los detritus generados durante el sondeo para su entrega y análisis posterior al hidrogeólogo de la dirección facultativa quien realizará la testificación geofísica según lo indicado en el apartado 6.1.13 del pliego de condiciones.
- Durante la perforación el contratista controlará la desviación para que la desviación máxima de la perforación sea inferior a 1,25 m en toda la profundidad del sondeo.

6.1.13 Testificación geológica y geofísica

- La dirección facultativa, a través del hidrogeólogo, realizará la caracterización de detritus y con la información de la testificación geofísica determinará junto con el contratista el diseño definitivo, en obra, de la columna de entubación con la ubicación adecuada de los tramos filtrantes.
- La testificación geofísica se realizará entre la finalización del sondeo y antes de la entubación. Se deberá llevar a cabo lo más pronto posible para evitar afecciones a la estabilidad del terreno.
- El contratista recopilará los siguientes parámetros geofísicos una vez finalizada la perforación que entregará a la dirección facultativa:
 - Gamma natural, potencial espontáneo y resistividad.
 - Conductividad y temperatura del agua.
 - Registro de la trayectoria de un sondeo.

6.1.14 Entubación

- El contratista suministrará y montará, incluido el soldado de uniones, la entubación del sondeo de acuerdo con la distribución del emboquille que figura en la Memoria y en el Plano nº 2.
- El contratista utilizará centradores para asegurar una colocación de la tubería de forma concéntrica a la perforación y con un espacio anular distribuido de forma regular para mejorar el engravillado posterior.

6.1.15 Engravillado

- El contratista suministrará y colocará la grava de dimensiones entre 3 y 6 mm dentro del espacio anular entre la tubería de entubación y la pared perforada entre las profundidades de 10 y 250 m. La operación de engravillado será controlada por el contratista de forma continua y una vez iniciados los trabajos no deberán interrumpirse hasta su finalización.
- El contratista se asegurará que no queden huecos sin rellenar de grava en el espacio anular. Deberá evitar asentamientos bruscos o golpes de grava.

6.1.16 Limpieza del pozo

- El contratista realizará la limpieza del pozo mediante el método mecánico de bombeo con inyección de aire comprimido. Debe realizarse la limpieza hasta que el agua extraída sea suficientemente clara y así lo determine la dirección facultativa de la obra. En principio se estima una duración de 6 h de limpieza.

6.1.17 Desarrollo del pozo

- El contratista realizará el desarrollo del pozo, después de la limpieza, con aire comprimido y polifosfatos de 4 horas de duración.

6.1.18 Ensayo de bombeo

- Finalizada la limpieza del pozo el contratista evaluará la captación de forma cuantitativa (caudal y descensos piezométricos) a través de la realización de un ensayo de bombeo durante 24 horas y 8 horas de recuperación.

6.1.19 Acabado final, restauración de terrenos y gestión de residuos.

- Al finalizar los trabajos de limpieza, y en su caso de desarrollo, del pozo el contratista lo cerrará con una brida ciega, atornillada y fija con puntos de soldadura con una placa de identificación del sondeo.
- El contratista ejecutará una solera de hormigón con forma cuadrangular de 2 metros de lado y 30 cm de espesor en el que el sondeo realizado quede en el centro de la solera.
- El contratista restaurará la balsa de lodos con el propio material de excavación para restituirla al estado en el que se encontraba previamente al inicio de las obras.
- El contratista gestionará el residuo extraído de la balsa de lodos con gestor autorizado, así

como el resto de los residuos de diferente tipología (peligrosos y no peligrosos) que se produzcan durante los trabajos.

- El contratista procederá a la restauración de las condiciones originales del terreno teniendo en cuenta tanto la limpieza y adecuación de la zona de perforación como los accesos y emplazamiento de utillaje y materiales auxiliares.

6.1.20 Finalización de los trabajos

- A la finalización de los trabajos el promotor, dirección facultativa y contratista firmarán el acta de recepción de las obras.

6.2 Seguridad y Salud.

- La empresa contratista deberá realizar y entregar el Documento de Seguridad en los términos establecidos en la ORDEN ITC/101/2006, de 23 de enero, por la que se regula el contenido mínimo y estructura del documento sobre seguridad y salud para la industria extractiva. El contenido el mismo se ajustará a lo indicado en el apartado 3 de la citada ORDEN ITC/101/2006.

6.3 Plazo de ejecución.

- El plazo de ejecución de las obras para la captación de agua subterráneas será de **14 días hábiles** a partir del inicio de las obras.

6.4 Abono de instalaciones.

- Se realizará el abono de las instalaciones de la siguiente forma:
 - 30 % al inicio de las obras.
 - 30 % a la firma del acta de recepción de las obras.
 - 40 % transcurridos 12 meses desde la firma del acta de recepción de las obras.

7. PRESUPUESTO

Tabla 8: Perforación de sondeo.

Nº	MED	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (euros)
1	Ud	Puesta en obra y retirada del equipo de perforación.	1	900,00	900,00
2	MI	Perforación a rotación a circulación inversa (RCI) con tricono en diámetro de 700 mm de 0-100 m	10	92,00	920,00
3	MI	Perforación a rotación a circulación inversa (RCI) con tricono en diámetro de 450 mm de 0-100 m	100	80,00	8.000,00
4	MI	Perforación a rotación a circulación inversa (RCI) con tricono en diámetro de 450 mm de 100-200 m	100	90,00	9.000,00
5	MI	Perforación a rotación a circulación inversa (RCI) con tricono en diámetro de 450 mm de 200-300 m	50	105,00	5.250,00
6	MI	Tubería de acero al carbono, ciega, de 500 mm de diámetro y 6 mm de espesor	10	60,00	600,00
7	MI	Tubería de acero al carbono, ciega, de 250 mm de diámetro y 6 mm de espesor	170	40,00	6.800,00
8	MI	Tubería de acero al carbono, con filtro de puentecillo de 1,5 mm de apertura, de 250 mm de diámetro y 6 mm de espesor	80	65,00	5.200,00
9	MI	Colocación de tubería en sondeo, unión soldada	260	3,50	910,00
10	Tm	Tonelada de grava sílicea calibrada, incluida colocación en sondeo	43	45,50	1.956,50
11	MI	Sellado mediante cementación en cabeza del sondeo para protección superficial	10	40,00	400,00
12	Hora	Limpieza y desarrollo del sondeo, a la finalización del mismo.	10	80,00	800,00
13	MI	Acceso, emplazamiento, balsas y restauración de los terrenos	10	1.000,00	10.000,00
SUB-TOTAL PERFORACIÓN (250 METROS)					50.736,50

Tabla 9: Testificación geofísica y geológica

Nº	MED	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (euros)
1	PA	Testificación Geológica y Geofísica de registros hidrogeológicos (resistividad, gamma natural, conductividad), para diseño de entubación, incluido informe.	1	2.200,00	2.200,00
SUB-TOTAL TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA					2.200,00

Tabla 10: Dirección facultativa e informe final.

Nº	MED	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (euros)
1	PA	Testificación Geológica y Geofísica de registros hidrogeológicos (resistividad, gamma natural, conductividad), para diseño de entubación, incluido Dirección Facultativa de la Obra, Certificado fin de obra e Informe Final de los trabajos. Incluyendo control técnico para aseguramiento de la calidad, vigilancia de Seguridad y Salud, recálculo de parámetros de dimensionamiento del equipamiento electromecánico del pozo y emisión de certificado para la legalización y puesta en servicio del pozo.	1	1.100,00	1.100,00
SUB-TOTAL DIRECCIÓN FACULTATIVA					1.100,00

Tabla 11: Ensayo de bombeo y análisis de agua.

Nº	MED	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (euros)
1	PA	Ensayo de bombeo de 24 horas de duración y 8 horas de recuperación y análisis básico de caracterización de agua, incluido, toma de muestra, medición de parámetros "in situ" e Informe Final.	1	2.500,00	2.500,00
SUB-TOTAL ANÁLISIS DE AGUA					2.500,00

Tabla 12: Presupuesto global.

Presupuesto Global	SUB-TOTAL
1. PERFORACIÓN DE SONDEO (250 METROS)	50.736,50
2. TESTIFICACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA	2.200,00
3. DIRECCIÓN FACULTATIVA E INFORME FINAL	1.100,00
4. ENSAYO DE BOMBEO Y ANÁLISIS DE AGUA	2.500,00
TOTAL (euros)	56.536,50

8. ANEXOS

8.1 Cálculo de la demanda hídrica del cultivo.

Aunque el cultivo de pistacheros es una alternativa de cultivo de secano, su respuesta al riego es buena incrementándose la producción de pistachos. Dadas las características de la zona se estima aconsejable realizar la plantación de la variedad Kerman (Centro Agrario El Chaparrillo, 2019).

En 1 hectárea se pueden plantar 400 árboles en un marco de 5 x 5 m. Por lo tanto, se prevé la plantación de aproximadamente 1800 pistacheros para la extensión de 4,5 ha (Couceiro et. al., 2008).

Se calcula la demanda evapotranspirativa del cultivo según Gijón et al. (2010):

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot K_r$$

ET_c : Evapotranspiración del cultivo
 ET_o : Evapotranspiración de referencia
 K_c : Coeficiente de cultivo
 K_r : Coeficiente reductor

Para el cálculo de K_c partimos de tabla incluida en el citado artículo.

Tabla 13: Coeficientes de cultivo del pistacho (Gijón et al., 2010)

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
K _c	0,56	0,35	0	0	0	0	0,25	0,80	1,13	1,19	1,16	0,93

Para el cálculo del factor de corrección del tamaño y densidad de plantación (K_r):

$$K_r = 2 \cdot \frac{S_c}{100}$$

$$S_c = (3,14 \cdot D^2 \cdot N)/400$$

S_c: Porcentaje de superficie cubierta
D: Diámetro medio de la copa del árbol en metros
N: Número de árboles por hectárea

Considerando un diámetro medio del árbol de 3,5 m y la plantación de 400 árboles por hectárea:

$$S_c = \frac{3,14 \cdot D^2 \cdot N}{400} = \frac{3,14 \cdot 3,15^2 \cdot 400}{400} = 31,16$$

$$K_r = 2 \cdot \frac{31,16}{100} = 0,623$$

Se estima la ET_o en Algete a partir de los datos de Chazarra et al. (2018):

Tabla 14: Cálculo de la evapotranspiración de cultivo para su localización en Algete.

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
ET _o	80	40	40	40	40	80	100	140	180	200	180	120
K _c	0,56	0,35	0	0	0	0	0,25	0,8	1,13	1,19	1,16	0,93
K _r	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623	0,623
ET _c	27,9	8,7	0	0	0	0	15,6	69,8	126,7	148,3	130,1	69,5

Para conocer el déficit de agua y poder estimar la cantidad de agua para riego por goteo, se realiza de forma simplificada el balance hídrico a partir de los datos de precipitaciones obtenidos de la AEMET para la estación más cercana, Madrid Aeropuerto (Periodo: 1981-2010 - Altitud (m): 609 Latitud: 40° 28' 0" - Longitud: 3° 33' 20" O).

Tabla 15: Cálculo del déficit hídrico.

- Datos en mm
- Se considera una reserva máxima en el terreno de 100 mm correspondiente a suelo arenoso con una capacidad de campo del 13 % en volumen de los cuales 100 litros son de agua disponible. (Ibañez, 2006)

Mes	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
P	51	49	42	29	32	22	38	44	22	9	10	24
ET_c	28	9	0	0	0	0	16	70	127	148	130	70
P-ET_c	23	40	42	29	32	22	22	-26	-105	-139	-120	-46
R	23	63	100	100	100	100	100	74	0	0	0	0
VR	23	40	37	0	0	0	0	-26	-74	0	0	0
ETR	28	9	0	0	0	0	16	70	30	9	10	24
Déficit	0	0	0	0	0	0	0	0	96	139	120	46

Las necesidades de riego para el déficit de agua en los meses de junio, julio, agosto y septiembre para la superficie de 4,5 hectáreas es la siguiente:

Tabla 16: Necesidades de riego

CAUDAL	Jun	Jul	Ago	Sep
m³/mes	4330	6267	5404	2049
m³/d	144,34	202,17	174,31	68,29
m³/h (12h)	12,03	16,85	14,53	5,69
L/s (12h)	3,34	4,68	4,04	1,58

Con lo anterior, se concluye que se requiere un total de 18.050 m³/año con un caudal de diseño para la captación de agua subterránea de 4,68 L/s durante 12 horas cada día, correspondiente al mes de julio.

8.2 Cálculo de la adecuación de la calidad del agua para el cultivo.

Para el cálculo de la adecuación de la calidad del agua para el cultivo utilizaremos el índice de riesgo de acumulación de sodio (SAR), el índice de carbonato sódico residual (CSR), la dureza, conductividad y pH según Cánovas (1986). A continuación, se muestran el método de cálculo de cada índice y valores de referencia:

- Valores de conductividad (20°C) menores de 4.000 µS/cm
- pH entre 7 y 8

- Índice de riesgo de acumulación de sodio (SAR):

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}}$$

Concentración expresada en meq/L

Tabla 17: Riesgo de sodio (Cánovas, 1986)

SAR	Riesgo
0-10	Bajo
10-18	Medio
18-26	Alto
>26	Muy Alto

- Índice de carbonato sódico residual (CSR):

$$CSR = ([CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$$

Concentración expresada en meq/L

Tabla 18: Riesgo de carbonato sódico residual (Cánovas, 1986)

CSR	Riesgo
<0	Bajo
1,25 – 2,5	Medio
Más de 2,5	Alto

- Dureza

$$Dureza (°H F) = \frac{(Ca \cdot 2,5) + (Mg \cdot 4,12)}{10}$$

Iones en mg/L

Tabla 19: Valores de dureza (Cánovas, 1986)

Tipo agua	°H F
Muy blanda	<7
Blanda	7 - 14
Medianamente blanda	14 - 22
Medianamente dura	22 - 32
Dura	32 - 54
Muy dura	>54

Tabla 20: Cálculos de la adecuación de la calidad del agua para el cultivo según datos analíticos de la tabla 6.

Parámetro	2021-1-0041	2021-1-0025	1921-4-0019
Índice SAR	2,06	1,64	1,35
Índice CSR	-1,13	0,16	ND
Dureza (° H F)	37,15	20,13	89,70
Conductividad 20° (µS/cm)	970,3	545,6	107,0
pH	7,7	7,9	7,0

Según los datos de la tabla 20 se concluye que la calidad del agua es aceptable para el cultivo con posible riesgo de obstrucción de los ramales y goteros debido a su clasificación como agua dura para los tres puntos de agua tomados como referencia.

8.3 Cálculo del nivel piezométrico dinámico de la captación.

Se considera como **caudal de diseño: $Q = 4,68 \text{ L/s}$** . Se realiza un estudio de los niveles piezométricos de los puntos más cercanos obteniendo como valor medio la cota de 680 msnm para los datos más antiguos del IGME del año 1972 (Ver tabla 4). Puesto que el punto seleccionado se encuentra entre las cotas topográficas de 705 msnm (ver apartado 5.2.), ya en el año 1972 la profundidad del nivel estático se situaba en unos 25 m de profundidad.

Se observan disminuciones de nivel piezométrico superiores a 10 metros entre 1972 y 1982 en el punto 2021-1-0032, así como, superiores a 30 metros en el punto Id. 2021-1-0025 desde el año 1977 (nivel piezométrico 647,03 msnm) hasta el 2004 (nivel piezométrico 611,15 msnm) de 36 m. Por lo anterior se considera partir de un nivel piezométrico 40 metros inferior al valor medio obtenido de la tabla 4, es decir:

$$\text{Nivel piezométrico estático} = 680 - 40 = 640 \text{ msnm}$$

El valor obtenido (640 msnm) es 20 m inferior al considerado en la piezometría del sistema acuífero nº 14 según modelo matemático del IGME (660 msnm), ver figura 6.

Según el estudio hidrogeológico realizado, la parcela se encuentra sobre el sistema acuífero detrítico terciario de Madrid-Toledo-Cáceres, el cual funciona como un acuífero libre heterogéneo y anisótropo. Por ello, para el cálculo del nivel dinámico utilizaremos la fórmula simplificada de Thiem (Villanueva e Iglesias, 1984):

$$T = 100 \cdot \frac{Q_a}{d_p}$$

T : Transmisividad (m^2/d)
 d_p : Descenso del pozo (m)
 Q_a : Caudal de diseño corregido
 $Q_a = \frac{\text{Caudal de diseño}}{\text{coeficiente de corrección}}$

Se puede considerar el coeficiente corrector (valor entre 0,65 y 0,85) para tener en cuenta las afecciones creadas por otros pozos, envejecimiento de la tubería de revestimiento del

pozo, descensos por bombeos prolongados, etc. Entonces, considerando un factor de corrección igual a 0,65 el resultado es el siguiente:

$$Q_a = \frac{4,68}{0,65} = 7,2 \text{ L/s}$$

Para calcular el descenso, según la fórmula simplificada de Thiem, se tiene en cuenta un valor de la transmisividad de 10 m²/d obtenido a partir del estudio hidrogeológico realizado y el caudal corregido:

$$d_p = 100 \cdot \frac{Q_a}{T} = 100 \cdot \frac{7,2}{10} = 72 \text{ m}$$

Con la información sobre el nivel piezométrico estático ubicado a la cota 640 msnm y un descenso de 72 m calculado con la fórmula simplificada de Thiem, el **nivel dinámico se sitúa en la cota 568 msnm**. Puesto que la cota topográfica del emboquille del sondeo es de 705 msnm podemos estimar que se producirá un descenso dinámico en el sondeo de 137 m (705 msnm - 568 msnm), profundidad mínima del sondeo para no quedarse en seco.

8.4 Cálculo de la perforación del sondeo.

A. DIMENSIONES DEL SONDEO

A.1) Profundidad de perforación

Se calcula la profundidad mínima de la captación resultando ser de 146 m, considerando la diferencia de cota hasta el nivel piezométrico dinámico (137 m), la NPSHr de la bomba (4,06 m) y un espacio extra para la bomba (5 m). Con el fin de que haya un espesor suficiente de flujo y en previsión de futuros descensos regionales consideramos al menos un orden de magnitud de 100 metros de acuífero atravesado por debajo del nivel piezométrico dinámico, por lo que la profundidad total será de 137 m sumados a los 100 m lo que resulta en un total de 237 m. Como sabemos, por el inventario, que el sondeo más profundo tiene una profundidad de este orden (250 m), podemos fijar en este valor como referencia de la profundidad el sondeo. Por lo tanto, la **profundidad del sondeo es de 250 m**.

A.2) Diámetro de perforación

Para conocer el diámetro de perforación es necesario conocer primero el diámetro de la bomba a utilizar para ello es necesario conocer el caudal de bombeo y la altura de impulsión.

Una vez conocidas ambas variables para un primer tanteo se selecciona inicialmente el diámetro de una bomba comercial a partir de la siguiente figura:

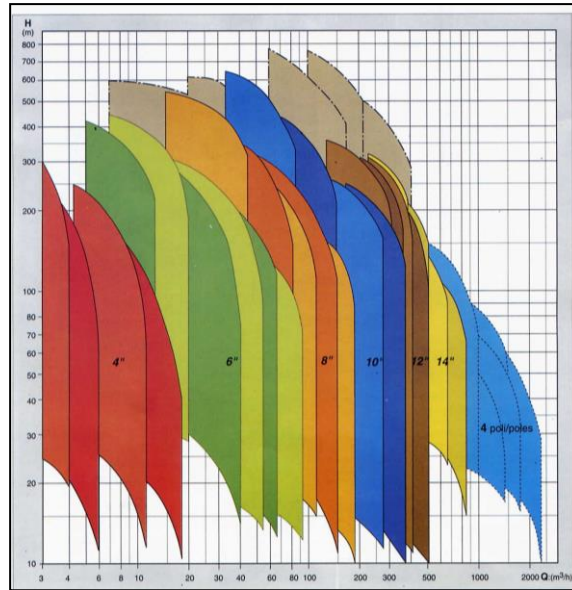


Figura 13: Curvas características de electrobombas sumergibles comerciales. (García, 2021).

El caudal de bombeo es conocido, tal y como ha sido calculado en el anexo 8.1 y asciende a 4,68 l/s, lo que equivale a 16,84 m³/h.

Para el cálculo de la altura manométrica de la bomba se considera la existencia de un acumulador hidroneumático de agua que mantiene la presión manométrica entre 8 y 10 bar. Por ello, se considera para el diseño de la captación la siguiente altura manométrica para la bomba:

$$\text{Altura manométrica} = \text{diferencia de cota} + \text{presión requerida} + \text{pérdidas de carga}$$

$$\text{Altura manométrica} = 137 \text{ m} + 100 \text{ m} + 12 \text{ m} = 249 \text{ m}$$

Se calculan las pérdidas de carga de forma aproximada estimándolas en un 5% de la longitud de la tubería de pérdidas de carga. La bomba se colocará 10 m por encima del fondo del pozo para disponer de un espacio donde se puedan acumular depósitos sin afectar a la bomba, por lo que las pérdidas de carga serán de 240 m x 5/100 = 12 m. Se puede observar en la tabla de la anterior figura que, en un primer tanteo sería preciso contar con una bomba de diámetro nominal de 6 pulgadas, esto es: 6 pulgadas x 25,4 mm/pulgada = 152,4 mm.

Para concretar ese diámetro se acude a un catálogo lo más actualizado posible, que en este caso ha sido recurriendo a la casa danesa fabricante de bombas Grundfos (www.grundfos.com). La bomba seleccionada para un Q = 4,68 L/s y una H = 249 m tiene un diámetro igual a 142 mm con un NSPHr igual a 4,06 m.

Por lo tanto, considerando un diámetro de entubación de 142 mm y suplementándolo 100 mm, necesitamos un diámetro superior a 242 mm, siendo el **diámetro normalizado 250 mm y 6 mm de espesor de tubería**.

La velocidad del agua para refrigeración de la bomba es inferior a 0,15 m/s (velocidad a través de la sección anular comprendida entre el diámetro interior de la conducción de entubado del pozo y el diámetro exterior de la bomba seleccionada) por lo que, en función de las especificaciones técnicas de la bomba que se seleccione, se prevé la necesidad de disponer de una campana de aspiración que conduzca el agua desde la parte inferior del motor para refrigerar la circulación.

Se puede estimar el espesor de la tubería mediante la tabla 21. En esta tabla, figuran los revestimientos habitualmente considerados de tuberías de pozos de hasta 200 m de profundidad. Para profundidades mayores se considera el correspondiente a la profundidad inmediatamente superior. Por lo tanto, se consideraría un espesor de tubería de 6 mm.

Tabla 21: Espesores habitualmente considerados en las tuberías de revestimiento de pozos de hasta 200 m de profundidad. (García, 2021).

Diámetro interior (mm)	Espesor de pared (mm)
Hasta 350	5
De 350-500	6
Más de 500	7-8

A partir del diámetro de entubación de 250 mm y considerando que en un terreno detrítico es preciso un anillo con un espesor de unos 100 mm, el **diámetro de perforación considerado es de 450 mm**.

A.3) Espacio anular

De acuerdo con lo indicado en los apartados anteriores es preciso considerar en el sondeo un espacio anular comprendido entre la perforación de 450 mm y la tubería de 250 mm. En los 10 metros superiores del sondeo será necesario proceder a la cementación de este espacio en una profundidad de unos 10 metros como protección de la contaminación superficial.

El terreno es detrítico por lo que el espacio anular debe ser rellenado con grava. Por ello, se debe contemplar 200 mm para el empaque por lo que el diámetro de la perforación será para un trcono de 18 pulgadas, lo que corresponde a un diámetro de perforación 450 mm.

En el espacio anular de 450 - 250 mm, entre las profundidades de 10 - 250 m, se colocará un macizo de grava lo que supone un total de grava de 43 Toneladas (27 m³).

La desviación máxima permitida será de dos veces el diámetro interior de la entubación por cada cien metros de profundidad por lo que:

$$\text{Desviación máxima perforación} = 2 \cdot \frac{250}{100} \cdot 0,250 = 1,25 \text{ m}$$

Dado que la perforación se encuentra en el acuífero detrítico terciario de Madrid, según la experiencia acumulada, se puede aceptar que el filtro de grava corresponde a una granulometría comprendida entre 3 y 6 mm.

Se calcula a continuación el valor de las aberturas de los filtros de puentecillo. La granulometría de la grava a emplear en el empaque debe estar comprendida entre 2 y 4 veces la abertura del filtro a utilizar en los tramos filtrantes.

$$2 d_f \leq d_g \leq 4 d_f$$

d_f : abertura de los filtros de la tubería
 d_g : diámetro de la grava del empaque

Por ello, la **abertura del filtro debe ser 1,5 mm**. La longitud del tramo filtrante: 80 m (30 % del total). La colocación de este filtro se realizará en función de los datos de la testificación geológica y geofísica.

B. SISTEMA DE PERFORACIÓN

B.1) Selección del método de perforación

Para la selección del sistema de perforación es preciso tener en cuenta la litología del material a atravesar, la profundidad y el diámetro de perforación del sondeo. En la tabla 22 se recoge un gráfico que permite relacionar estas variables de forma práctica.

Tomando como base de partida un terreno detrítico terciario (arenas, limos, arcillas), diámetro de perforación de 450 mm (grande) y una profundidad de 250 m (sondeo profundo). Entrando con las anteriores referencias en la tabla 22 se puede seleccionar como sistema más apropiado el de rotación a circulación inversa, pues, aunque el de percusión también podría ser adecuado si hubiera grandes “bolos”, este no es el caso y además este sistema es extremadamente lento y más caro que el de rotación a circulación inversa.

Tabla 22: Selección del sistema de perforación en función de la litología del terreno a perforar y la profundidad y diámetro de la captación. (García, 2021).

DUREZA	LITOLOGÍA	DIÁMETRO (pequeño <300 mm)	CAPTACIÓN SUPERFICIAL (<100m)	CAPTACIÓN PROFUNDA
MUY DURA Resistencia a compresión >2 000 Kp/cm ²	Ejemplos: Pizarras Cuarcitas Granitos Basaltos	Grande		
		Pequeño	Rotopercusión directa	
DURA Resistencia a compresión entre 800-2 000 Kp/cm ²	Ejemplos: Calizas duras Areniscas duras	Grande	Percusión Rotopercusión directa (Inversa?)	Percusión Rotopercusión inversa
		Pequeño	Rotopercusión directa	Rotopercusión directa (inversa?)
MEDIA Resistencia a compresión entre 200- 800 Kp/cm ²	Ejemplos: Calizas Areniscas	Grande	Percusión Rotopercusión directa (inversa?) Rotación inversa (?)	Percusión Rotopercusión inversa Rotación inversa (?)
		Pequeño	Rotopercusión directa Rotación inversa (?)	Rotopercusión directa (inversa?) Rotación inversa (?)
BLANDA Resistencia a compresión menor que 200 Kp/cm ²	Ejemplos Arenas Limos Margas Arcillas	Grande	Pozos abiertos (?) Percusión (?) Rotación inversa	Rotación inversa Percusión (?)
		Pequeño	Rotación inversa	Rotación inversa

B.2) Variables de la perforación con tecnología de rotación a circulación inversa

○ Empuje sobre la roca del útil de perforación

Para una dureza de la roca blanda se estima una resistencia a la compresión de 20 MPa y un diámetro de tricono de 18 pulgadas correspondiente al diámetro de la perforación de 450 mm según IGME (1987):

$$E_{\text{mínimo}} = 28,5 \cdot RC \cdot D = 28,5 \cdot 20 \cdot 18 = 10.260 \text{ libras} = \mathbf{45,6 \text{ kN}}$$

$$E_{\text{máximo}} = 2 \cdot E_{\text{mínimo}} = 2 \cdot 9.975 = 20.520 \text{ libras} = \mathbf{91,3 \text{ kN}}$$

$$E_{\text{límite}} = 850 \cdot D^2 = 850 \cdot 18^2 = 275.400 \text{ libras} = \mathbf{12.25,0 \text{ kN}}$$

Siendo:

E : Empuje (libras)

RC : Resistencia a compresión de la roca (MPa)

D : Diámetro del tricono (pulg)

○ Empuje necesario

La capacidad de empuje de la máquina se recomienda que sea un 30% mayor que el empuje máximo de trabajo según IGME (1987). Entonces, la **capacidad de empuje es de 26.676 libras (118,7 kN)**. Esto corresponde a un empuje de 1.482 libras por pulgada de diámetro o 1,482 miles de libras por pulgada de diámetro.

○ Velocidad de rotación

El límite de la velocidad de rotación está fijado por el desgaste de los cojinetes, que a su vez depende del empuje, de la limpieza del barreno y de la temperatura; y por la rotura de los insertos que es provocada por el impacto del tricono contra la roca, siendo la intensidad de éste proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación (tomado de IGME, 1987). Para roca blanda la velocidad de rotación oscila **entre 75 y 160 rpm** según IGME (1987).

○ Potencia de rotación y par de rotación estimado

Se calcula la potencia y el par de rotación de forma estimada en base a las siguientes expresiones empíricas según IGME (1987) y para las dos velocidades extremas de rotación:

- Potencia de rotación:

$$HP_{r N=75rpm} = K \cdot N_r \cdot D^{2,5} \cdot E^{1,5} = 12 \cdot 10^{-5} \cdot 75^{2,5} \cdot 1,482^{1,5} = 10,5 \text{ HP} = \mathbf{7,8 \text{ kW}}$$

$$HP_{r N=160rpm} = K \cdot N_r \cdot D^{2,5} \cdot E^{1,5} = 12 \cdot 10^{-5} \cdot 160^{2,5} \cdot 1,482^{1,5} = 70,1 \text{ HP} = \mathbf{52,3 \text{ kW}}$$

- Par de rotación:

$$T_{r N=75rpm} = \frac{5250 \cdot HP_r}{N_r} = \frac{5.250 \cdot 10,5}{75} = 735 \text{ Libras} \cdot \text{pies} = 996 \text{ N} \cdot \text{m} \approx \mathbf{1 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

$$T_{r N=160rpm} = \frac{5250 \cdot HP_r}{N_r} = \frac{5.250 \cdot 70,1}{160} = 2.300 \text{ Libras} \cdot \text{pies} = 3118 \text{ N} \cdot \text{m} \approx \mathbf{3 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Siendo:

HP_r : Potencia de rotación (HP)

N_r : Velocidad de rotación (rpm)

T_r : Par de rotación (lb · pies)

D: Diámetro (pulgadas)

E: Empuje (miles de libras por pulgada de diámetro)

K: Constante de la formación (formación blanda $12 \cdot 10^{-5}$)

○ Velocidad media de penetración

La velocidad de penetración dependerá de la máquina perforadora y el útil de perforación, se considera como avance habitual para este caso **entre 40 y 50 m/día** haciendo uso de cabezales de perforación.

○ Tipo de tricono

Los triconos de dientes se clasifican en tres categorías en función de la formación rocosa: blanda, media y dura.

Los triconos para formaciones blandas tienen rodamientos pequeños compatibles con los dientes largos y los pequeños empujes sobre la boca que son necesarios. Los dientes están separados y los conos tienen un descentramiento grande para producir un efecto de desgarre elevado (IGME, 1987).

Será necesario un **tricono de 18 pulgadas (código IADC 1-1-1)** al menos con las siguientes especificaciones: de dientes para formaciones blandas con baja resistencia a la compresión y alta perforabilidad; resistencia de roca blanca; estándar de rodamientos cilíndricos abiertos (IGME, 1987).

- **Potencia del cabrestante de elevación**

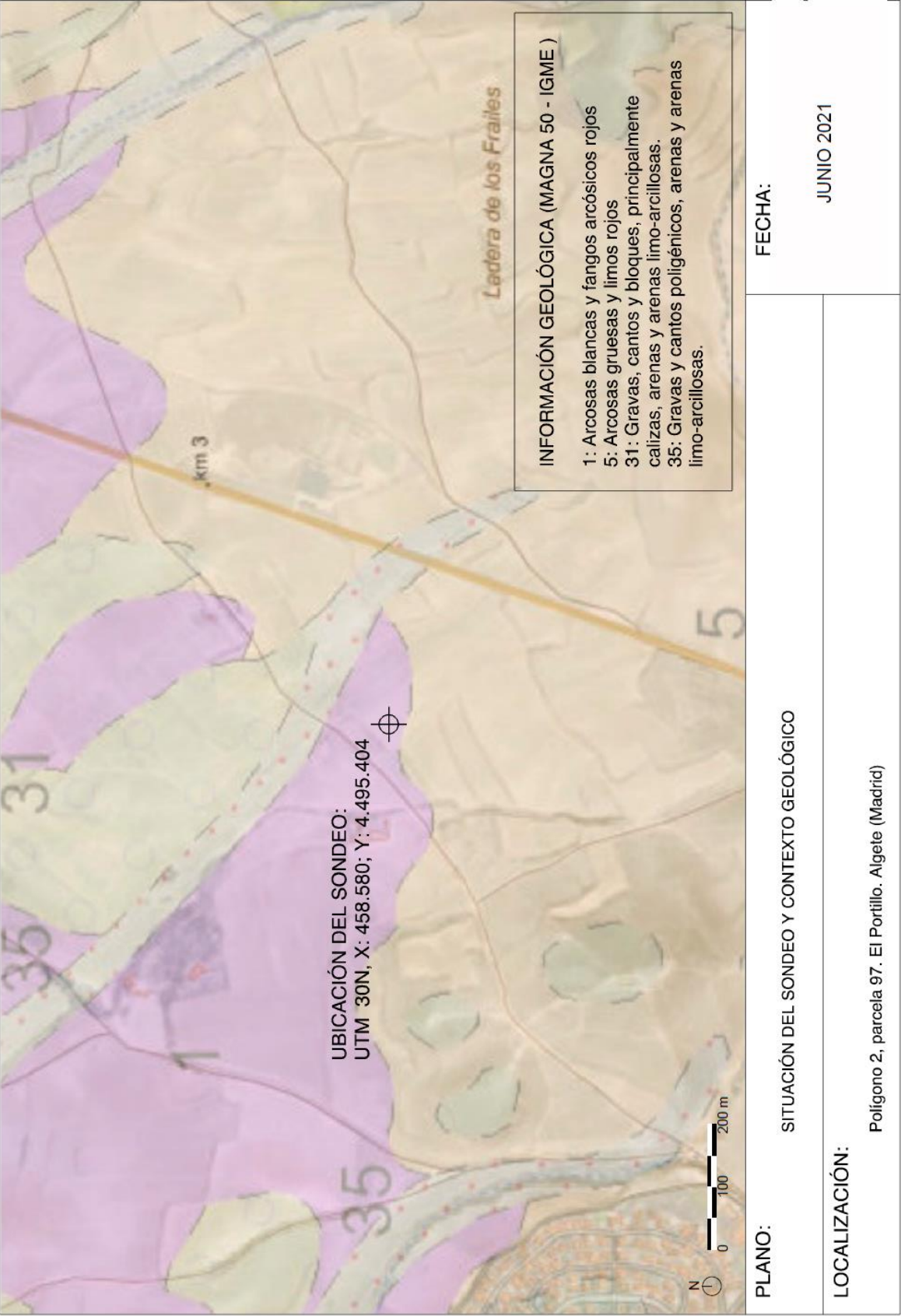
También hay que tener en cuenta la potencia del cabrestante de elevación de las varillas y para los diámetros habituales de perforación se considera que aproximadamente la potencia necesaria que necesita el cabrestante es la décima parte de la profundidad en pies del sondeo (Puy, 1981). En este caso, dado que la profundidad prevista es de 250 m que en pies es de $250 \times 3,28 \text{ pies/metro} = 820 \text{ pies}$, que correspondería a una potencia en caballos de vapor de 82 CV. Teniendo en cuenta que 1 CV son 0,75 kW, resulta **61 kW**, que será la potencia que considerar del equipo.

- **Velocidad ascensional de lodos**

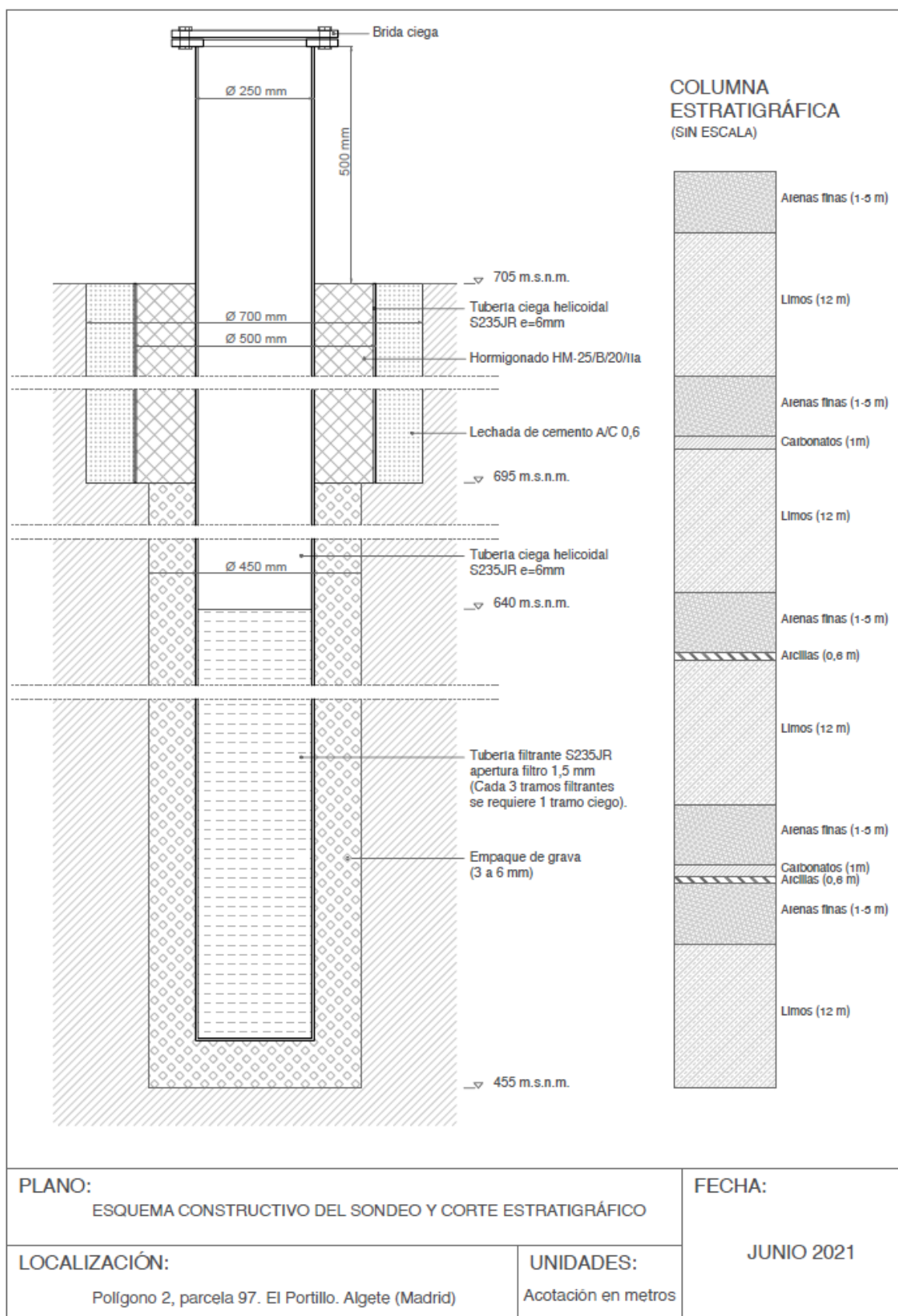
Será necesaria una velocidad de ascensión de lodos entre 15 y 25 m/min.

9. PLANOS

9.1 Plano de situación del sondeo.



9.2 Esquema constructivo del sondeo y corte estratigráfico.



10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño de una captación de agua subterránea parte de la determinación de las dotaciones necesarias en función del uso del agua, de un adecuado análisis del lugar en términos hidrogeológicos y del conocimiento sobre las técnicas de construcción de sondeos.

Para la determinación de las dotaciones se debe realizar el cálculo de los consumos de agua esperados, en nuestro caso, al ser para un cultivo agrícola, ha sido necesario calcular el déficit hídrico esperado a partir de los datos de precipitaciones mensuales y la evapotranspiración del cultivo.

A la hora de realizar el estudio hidrogeológico del lugar existe una fuente de información muy importante en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). En esta institución, podemos encontrar la base de datos de puntos de agua, así como los mapas que nos permiten conocer las características geológicas, hidrogeológicas e hidroquímicas del lugar. Del estudio hidrogeológico se obtienen tres datos de elevada importancia para el diseño de la captación, como son: la transmisividad del terreno, la cota piezométrica esperada de la lámina de agua y la litología del lugar. Tenemos que considerar si nuestra ubicación se encuentra en una zona de especial protección de masas de agua ya que se podrían llegar a imponer limitaciones para el diseño e impedir, por ejemplo, alcanzar determinadas cotas de profundidad.

En el diseño debemos realizar consideraciones del lado de la seguridad debido a que existe cierto grado de incertidumbre sobre la información recogida. Se requiere dotar al diseño de cierta robustez puesto que los costes agregados de incrementar la profundidad del sondeo en obra son menores que los de tener que realizar una nueva perforación ante un problema como consecuencia de no disponer de la cantidad de agua requerida por un fallo en el diseño. Esta será la forma de gestionar el riesgo en el proyecto de la captación.

La realización del pozo no es solo la ejecución del sondeo, es también tener en cuenta el cumplimiento legal en materia de seguridad minera, protección de medio ambiente y de seguridad y salud en el trabajo. Así como, tener en cuenta actividades auxiliares como: ensayos, limpiezas, desarrollos del pozo y la restauración final que recupere ambientalmente la zona.

11. CONCLUSIONES

Con la realización del presente proyecto se puede llevar a cabo la obra necesaria para proporcionar el suministro de agua en la cantidad y calidad requerida, que permita acometer una explotación agrícola. Se pone de manifiesto la importancia de las aguas subterráneas para emprender inversiones que promuevan el desarrollo sostenible de la actividad productiva.

12. BIBLIOGRAFÍA

AEMET. Valores climatológicos normales Madrid-Aeropuerto. Recuperado el 23 de enero de 2021, de:

<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=3129&k=undefined>

Base de Datos de Puntos de Agua del IGME. Disponible en: *<http://info.igme.es/BDAguas/>*

Cánovas J. (1986). Calidad agronómica de las aguas de riego. Madrid. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.

Centro Agrario El Chaparrillo (2019). Breve y sencilla guía para el establecimiento de una plantación de pistacheros. Consejería de Agricultura, Junta de Comunidades de Castilla La Mancha. Servicio de Investigación Formación y Tecnología Agraria.

https://chaparrillo.castillalamancha.es/sites/chaparrillo.castillalamancha.es/files/2019-10/guia_pistachos_plantacion.pdf

Chazarra A., Flórez E., Peraza B., Tohá T., Lorenzo B., Criado E., Moreno J., Romero R., Botey R. (2018). Mapas Climáticos de España (1981-2010) y ET_o (1996-2016). Madrid. AEMET.

http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/MapasclimaticosdeEspana19812010/MapasclimaticosdeEspana19812010.pdf

Couceiro J., Gijón M., Guerrero J., Lacasta C., Moriana A., Rivero A. (2008). Pistacho Ecológico: El Oro Verde. La Fertilidad de la Tierra, 32, 22 – 26. *https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Ferti%5CFerti_2008_32_completa.pdf*

García T. (2021). Apuntes Tema 1, Captación de agua, Pozos y Sondeos, Perforación. Madrid. Máster en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos (UAH – URJC).

- Gijón M., Pérez-López D., Guerrero J., Couceiro J., Moriana A. (2010). Riego Deficitario Controlado en Olivo y Pistachero. Agricultura Revista Agropecuaria, 930, 458 – 462.
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri%5CAgri_2010_930_completa.pdf
- GOOGLE MAPS. Algete (Comunidad de Madrid). Recuperado el 6 de febrero de 2021, de:
<https://www.google.es/maps/@40.6022341,-3.4906836,3171m/data=!3m1!1e3>
- Ibañez J. (2006). El Agua en el Suelo 4: Textura del Suelo y Propiedades. Recuperado el 18 de febrero de 2021, de:
<https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/07/05/33887#:~:text=Suelo%20arenoso%3A%20130%20litros%20por,litros%20son%20de%20agua%20disponible.>
- IGME (1987). Manual de perforación y voladura de rocas. Madrid. IGME.
- IGME (1997). Mapa Hidrogeológico escala 1:200000. Madrid (45) (cartografía y memoria). IGME.
- INTECSA (1988). Atlas Geocientífico de la Comunidad de Madrid. Madrid. INTECSA.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Boletín Oficial del Estado núm. 296, de 11 diciembre de 2013.
- Orden de 22 de marzo de 1988 por la que se aprueban instrucciones técnicas complementarias de los capítulos II, IV y XIII del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Boletín Oficial del Estado núm. 85, de 8 de abril de 1988, páginas 10553 a 10567.
- Puy J. (1981). Procedimientos de sondeos. Madrid. CIEMAT.
- Sistema de Información de Recursos Subterráneos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: (*<https://sig.mapama.gob.es/redes-seguimiento/>*)
- Villanueva M., Iglesias A. (1984). Pozos y Acuíferos Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo. Madrid. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
http://www.igme.es/biblioteca/Libros_agotados/pozos_acuiferos_2.pdf
- Visor Web IGME. Disponible en: *<http://info.igme.es/visorweb/>*